



T/CECS G XXXX: 2021

中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

道路隧道瓷板无龙骨干挂内装工程技术规程
Technical specification for dot-hanging porcelain plate
engineering of road tunnel decoration
(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布
Issued by China Association for Engineering Construction
Standardization

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2018 年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2018〕030 号）的要求，制定本规程。

本规程共分 10 章，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料、结构设计、结构计算、构件加工、施工、验收、养护。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由四川省公路规划勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中，如发现需要修改和补充之处，请将意见和有关资料寄送解释单位（地址：四川省成都市武侯祠横街 1 号；邮政编码：610041）。

主编单位：四川省公路规划勘察设计研究院有限公司

参编单位：苏交科集团股份有限公司

四川华泰科创建材有限公司

四川雅康高速公路有限责任公司

四川新高峰瓷业有限公司

主要起草人：

主要审查人：

征求意见稿

目 次

1 总 则.....	1
2 术语和符号.....	1
2.1 术 语.....	1
2.2 符 号.....	2
3 基本规定.....	6
4 材 料.....	8
4.1 一般规定.....	8
4.2 铝合金型材.....	9
4.3 钢材.....	10
4.4 面板材料.....	11
4.5 连接件与紧固件.....	13
4.7 其他材料.....	14
5 设计.....	16
5.1 一般规定.....	16
5.2 系统构造设计.....	17
5.3 面板设计.....	18
5.4 面板接缝设计.....	20
5.5 连接设计.....	21
6 结构计算.....	25
6.1 一般规定.....	25
6.2 材料力学性能.....	26
6.3 荷载与作用.....	28
6.4 荷载及作用效应组合.....	30
6.5 面板计算.....	32
6.6 连接件与紧固件计算.....	34
7 加工制作.....	38
7.1 一般规定.....	38
7.2 金属构件加工.....	38
7.3 面板加工.....	41
7.4 构件、组件检验.....	43
8 施工.....	44
8.1 一般规定.....	44
8.2 施工准备.....	45
8.3 安装施工.....	46
8.4 施工安全.....	47
9 验收.....	48
9.1 一般规定.....	48
9.2 主控项目.....	49
9.3 一般项目.....	50
10 养护.....	52
10.1 一般规定.....	52
10.2 检查与维修.....	52

10.3 清洁.....	53
附录 A 常见节点构造.....	55
附录 B 常用挂件.....	57
附录 C 常见隧道内装方案.....	59
本规程用词说明.....	61
引用标准名录.....	62

征求意见稿

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	1
2.1	Terms.....	1
2.2	Symbols.....	2
3	Basic Requirement.....	6
4	Materials	8
4.1	General Requirements	8
4.2	Aluminum Alloy Profiles	9
4.3	Steel.....	10
4.4	Panel Materials.....	11
4.5	Connector and Fastener.....	13
4.7	Other Materials	14
5	Design	16
5.1	General Requirements	16
5.2	Detailing Design	17
5.3	Panel Design	18
5.4	Panel Joint Design.....	20
5.5	Connection Design.....	21
6	Structural Calaulation.....	25
6.1	General Requirements	25
6.2	Mechanical Properties of Materials.....	26
6.3	Load and Action	28
6.4	Combination of Load and Action Effect	30
6.5	Calaulation of Panel	32
6.6	Calaulation of Connector and Fastener	34
7	Manufacture and Fabrication	38
7.1	General Requirements	38
7.2	Fabrication of Metal Components.....	38
7.3	Fabrication of Panels.....	41
7.4	Inspection of Members and Components.....	43
8	Construction.....	44
8.1	General Requirements	44
8.2	Construction Preparation.....	45
8.3	Installation and Construction	46
8.4	Safety Requirements	47
9	Quality Acceptance	48
9.1	General Requirements	48
9.2	Dominant Items.....	49
9.3	Ordinary Items	50
10	Maintenance.....	52
10.1	General Requirements	52
10.2	Inspection and Repair.....	52

10.3 Cleaning	53
Appendix A Common Joint Construction	55
Appendix B Common Hanging Fastener	57
Appendix C Common Tunnel Decoration Scheme	59
Explanation of Wording in This Specification	61
List of Quoted Standards.....	62

征求意见稿

1 总 则

1.0.1 为规范道路隧道瓷板无龙骨干挂内部装饰工程设计、施工、验收及养护，做到技术先进、安全可靠、美观耐用、维护便捷、经济合理、节能环保，制定本规程。

条文说明：

有龙骨干挂瓷板已广泛应用于建筑外墙、地铁车站等领域装饰工程中，相应的标准规范也比较完善，但由于其造价高、占用空间大、维护不方便等缺点，不适合在道路隧道中大规模推广。而统合技术经济先进的“瓷板无龙骨干挂内部装饰”已经在建筑、地铁、隧道等领域中有所应用，但瓷板无龙骨干挂装饰系统标准化体系还不够完善，不能满足道路隧道工程的需要，因此为了使道路隧道瓷板无龙骨干挂内装工程的设计、施工、验收和养护做到安全适用、经济合理。在总结近年来我国瓷板无龙骨干挂装饰系统设计、施工、检测的实践经验基础上，补充进行了试验研究，参考了我国现有建筑幕墙相关国家和行业标准，编制了本规程。

1.0.2 本规程适用于抗震烈度低于 9 度的新建和改扩建隧道瓷板无龙骨干挂内装工程的设计、施工、验收及养护。

条文说明：

地震烈度 9 度时地震作用较大，主体结构的变形很大，甚至可能发生比较严重的破坏，其内装工程设计和施工需要采取措施，才能保证在 9 度抗震设防时达到本规程第 1.0.3 条的要求。因此，本规程尚未将 9 度抗震设计的隧道瓷板无龙骨干挂内装工程列入适用范围。对因特殊需要，必须在 9 度抗震设防区建造的工程应专门研究，并采取抗震措施。

1.0.3 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程设计与施工应贯彻国家有关技术政策，积极稳妥地采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

1.0.4 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

条文说明：

隧道瓷板无龙骨干挂内装工程的设计、材料选择、加工制作、安装施工和养护时，还有许多密切相关的标准和规范，如：有关的建筑设计规范、结构设计规范、建筑防火设计规范、建筑抗震设计规范等现行国家标准和行业标准、地方标

准等，本规程中没有规定的内容，应按照相关标准和规范的规定执行。

设计计算是保证无龙骨干挂瓷板内壁装饰工程具有规定的可靠度的基础，瓷板无龙骨干挂装饰系统的材料性能、加工制作质量和施工质量，是满足设计构造和结构承载能力的根本保证，应进行控制并满足相关规范的规定。

瓷板无龙骨干挂装饰系统使用的主要材料有：钢材、铝材、瓷板等，以及粘结材料、各种连接件和紧固件等，均有相应的国家标准和行业标准。有特殊要求的材料，在本规程第4章中，也进行了明确规定。选用的材料尺寸，除特别注明为实际尺寸之外，均指其设计尺寸（公称尺寸）；规定有尺寸允许偏差的产品，其实际尺寸应在规定的允许偏差范围之内，并符合设计规定。

征求意见稿

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 瓷板无龙骨干挂装饰系统 dot-hanging porcelain plate decorative system

瓷板通过挂件直接与隧道主体结构点式连接的装饰系统。

2.1.2 道路隧道瓷板无龙骨干挂内装工程 dot-hanging porcelain plate decorative engineering of road tunnel

采用无龙骨干挂瓷板作装饰材料的道路隧道内壁装饰工程。

2.1.3 瓷板 porcelain plate

本规程所称的瓷板是指幕墙瓷板或低吸水率陶瓷砖。

2.1.4 增强瓷板 reinforced porcelain plate

将瓷板背面采用粘贴纤维复合材等措施进行防爆抗裂处理后的道路隧道内装工程专用面板。

2.1.5 面板 panel

用于瓷板无龙骨干挂装饰系统的墙面板材。

2.1.6 正面 front surface

安装在隧道侧墙上的瓷板可见装饰面。

2.1.7 纤维复合材 fibre reinforced polymer

采用高强度或高模量连续纤维按一定规则排列并经专门处理而成的、具有纤维增强效应的复合材料。

2.1.8 干挂 dry-hang

采用金属挂件将面板牢固悬挂在结构体上形成饰面的一种挂装施工方法。

2.1.9 金属挂件 metal hanging fastener

用来挂装面板的金属连接件。

2.1.10 组合挂件 combined hanging fastener

由面板连接挂件与承托件相互配合而成的组合式金属连接件。

2.1.11 锚栓 anchor

将被连接件锚固到基材上的锚固组件产品，分为机械锚栓和胶粘型锚栓。

2.1.12 后锚固件 post-installed fastenings

按规定工艺，在已有混凝土结构上安装固定的锚固组件。

2.1.13 基体 primary structure

隧道的主体结构。

2.1.14 基层 base course

直接承受隧道内部装饰施工的面层。

2.1.15 衬砌 lining

支护隧道围岩的结构体。

2.1.16 双金属腐蚀 bimetallic corrosion

不同电位的金属材料相接触或因其他电子导体作为电极而产生的电偶腐蚀现象。

2.1.17 结构胶粘剂 structural adhesive

用于承重结构或构件胶结的、能长期承受涉及应力和环境作用的胶粘剂，简称结构胶。

2.1.18 相容性 compatibility

粘接用的密封胶料之间或密封胶料与其他材质的材料面接触时，相互不发生有害的物理化学反应的性能。

2.1.19 面板接缝 panel joint

系统面板之间的构造缝隙。

2.1.20 系统变形缝 deformation joint of the system

系统在隧道主体结构变形缝（包括伸缩缝、沉降缝和抗震缝）处设置的构造缝，以适应隧道主体结构的变形而不会产生过大的附加变形和损坏。

2.2 符 号

2.2.1 材料力学性能

$C20$ ——立方体抗压强度标准值为 20N/mm^2 的混凝土强度等级；

E ——材料弹性模量；

f ——材料抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_{ce} ——材料端面承压强度设计值；

f_v ——材料抗剪强度设计值；

R_{eL} ——耐候钢的下限屈服强度；

$R_{p0.2}^b$ ——钢材的规定非比例延伸强度。

2.2.2 作用和作用效应

F ——沿最不利方向施加于非结构构件重心处的水平地震作用标准值；

G ——系统构件的重力；

G_k ——重力荷载标准值；

P_{Ek} ——平行于面板平面的集中地震作用标准值；

q_{Ek} ——垂直于面板平面的水平地震作用标准值；

q_k ——垂直于面板平面的作用标准值；

R ——构件截面承载力设计值；

S ——作用效应组合的设计值；

S_d ——荷载按基本组合的效应设计值；

S_E ——地震作用和其他荷载按基本组合的效应设计值；

S_{Gk} ——永久荷载效应标准值；

S_{wk} ——风荷载效应标准值；

S_{Ek} ——地震作用效应标准值；

S_{Tk} ——温度作用效应标准值；

w_k ——风荷载标准值；

γ_{gk} ——材料重力密度标准值；

δ ——瓷板背面纤维复合材胶层厚度；

σ_k ——面板材料的弯曲应力标准值；

σ_{sk} ——支承角码的弯曲应力标准值；

σ_{sp} ——支承角码的弯曲应力设计值；

τ_k ——面板材料的剪应力标准值；

τ_{pk} ——挂件剪应力标准值；

τ_{sk} ——支承角码剪应力标准值；

τ_p ——挂件剪应力设计值；

τ_{sp} ——支承角码剪应力设计值。

2.2.3 参数

A ——构件截面面积或毛截面面积；面板平面面积；

A_p ——单个挂件挂钩的受剪截面面积；

a ——矩形面板的短边边长；
 a_0 ——4 点支承矩形面板，支承点之间较短的距离；
 b ——矩形面板的长边边长；
 b_0 ——4 点支承矩形面板，支承点之间较大的距离；
 b_1 ——支承角码的长度；
 c_1 ——板缝竖向接缝宽度；
 c_2 ——板缝横向接缝宽度；
 e ——面板偏心距；
 l_1 ——矩形面板竖向边长；
 l_2 ——矩形面板横向边长；
 n ——面板挂件总数量；
 n_1 ——承受面板自重荷载的支承连接件数量；
 s ——面板槽口剪切面总长度；
 t ——面板厚度；型材截面厚度；
 t_e ——面板计算厚度；
 t_2 ——支承角码外挑翼缘的厚度；
 t_v ——面板槽口受剪面厚度；
 ν ——材料的泊松比。

2.2.4 系数

m ——弯矩系数；
 α ——材料线膨胀系数；
 α_{\max} ——水平地震影响系数最大值；
 β ——应力集中系数；
 β_E ——地震作用动力放大系数；
 γ ——非结构构件功能系数；
 γ_0 ——结构构件重要性系数；

γ_G ——永久荷载分项系数；

γ_w ——风荷载分项系数；

γ_E ——地震作用分项系数；

γ_T ——温度作用分项系数；

γ_{RE} ——构件承载力抗震调整系数；

ψ_w ——风荷载作用效应的组合值系数。

ψ_E ——地震作用效应的组合值系数；

ψ_T ——温度作用效应的组合值系数；

η ——非结构构件类别系数；

ξ_1 ——状态系数；

ξ_2 ——位置系数。

2.2.5 其他

d_f ——构件的挠度值；

$d_{f,lim}$ ——构件的挠度限值；

u_{lim} ——由隧道主体结构位移引起的分格框的变形限值。

3 基本规定

3.0.1 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程的设计，应根据隧址区的气象、社会和人文环境条件，隧道的使用年限、使用功能、内轮廓断面类型和基层条件，通过综合技术经济分析，选择合理的表面分格、结构形式、面板材料和五金附件，并应方便制作、安装和养护。

条文说明：

隧道瓷板无龙骨干挂内装工程设计的主要任务是确定立面的线条、色调、构图、虚实组合和协调内装与隧道整体以及与环境的关系，并对瓷板无龙骨干挂装饰系统的性能、材料和制作工艺提出设计要求，要根据隧道的使用功能、造价、环境、能耗、施工技术条件进行设计，并能方便制作、安装、养护。

3.0.2 装饰面板应采用具有防爆抗裂功能的增强瓷板，增强瓷板的加工制作宜采用专用设备在厂房内完成。

条文说明：

为防止瓷板遭受车辆撞击后碎块飞溅对司乘人员造成伤害，装饰面板应具有防爆抗裂功能。

3.0.3 在正常使用和正常养护状态下，瓷板无龙骨干挂内装工程在规定的的设计使用年限内应具备规定的工作性能、安全性和耐久性。

条文说明：

在正常使用和正常养护状态下，瓷板无龙骨干挂内装工程在规定的结构设计使用年限内（一般是30年），应具有良好的工作性能、安全性和耐久性。

3.0.4 对于重力荷载、设计风荷载、设防烈度地震作用、温度变化和隧道主体结构变形，系统应具有相应的抵抗能力和适应能力。

3.0.5 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程的抗震性能设计应符合下列规定：

1 在遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震作用时，应不需修理即可继续使用；

2 在遭受相当于本地区抗震设防烈度的多遇地震作用时，可能发生损坏，但经修理后应仍可继续使用。

条文说明：

在地震作用下，系统构件会受到动力的作用，相对更容易发生破坏。在多遇

地震（重现期 50 年，50 年设计基准期内的超越概率约为 63%）作用下，面板及连接构件一般不应产生破坏，或虽有微小损坏但不需修理仍可正常使用；在设防烈度地震（重现期约 475 年，50 年设计基准期内的超越概率约为 10%）作用下，可能有损坏（如个别面板破损等），但不应有严重破坏，经一般修理后仍然可以使用。本规定与我国现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的指导思想是一致的。

3.0.6 建设各方应建立健全质量保证体系，对工程施工质量进行全过程控制管理，落实质量责任终身追究制度。

3.0.7 建设各方应建立健全安全生产管理体系，严格执行现行行业标准《公路工程施工安全技术规范》JTG F90、《公路隧道施工技术规范》JTG F60、《公路养护安全作业规程》JTG H30 中的有关规定，设置专门安全管理机构，配备专职安全管理人员，落实安全生产责任制，保证工程施工安全。

3.0.8 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程的施工应建立环境管理体系，制定并实施环境管理计划，有效减少施工对环境的影响。

3.0.9 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程的施工应重视职业健康和劳动卫生保护，制定管理计划并进行有效控制，加强通风、降噪、防尘、照明，积极改善隧道作业环境，减少有害气体、粉尘、噪声等对作业人员的危害，防止发生职业健康安全事故。

3.0.10 系统交付使用后，应及时制定系统的检查、维修、保养计划与制度，定期对系统进行检查和清洁。

条文说明：

在正常使用时，业主应根据“系统使用维护说明书”及本规程的相关要求，制定维修保养计划与制度，保证工程的安全性与功能性要求。主要包括：日常维护与保养；定期检查和维修；地震、台风、火灾后的全面检查与修复等。

4 材 料

4.1 一般规定

4.1.1 系统所用材料应符合现行国家标准、行业标准和地方标准的规定，并满足设计要求。材料出厂时，应有出厂合格证书。

条文说明：

系统所用材料是保证系统可靠性的物质基础，为了保证系统安全性和性能。系统材料必须满足设计要求并符合相关现行国家标准和行业标准的质量规定，当工程所在地有特殊要求时，还应符合相应地方标准规定；采用国外先进国家同类产品标准或生产厂商的企业标准作为产品质量控制依据时，不应低于相应现行国家标准并符合设计规定，出厂时，必须有产品出厂合格证。进口材料还必须具有商检报告和原产地证明。

4.1.2 面板及其连接构件应选用耐候性材料，其物理和化学性能应适应工程所在地的气候、环境，并满足系统设计使用年限等要求。

条文说明：

系统处于隧道的外表面，在不同的自然环境下，会承受如地下水、冷冻、腐蚀、温度激变等不利因素的影响。因此，根据设计要求，系统材料应具有足够的耐候性和耐久性，具备防水、防冻、防腐蚀、保温、隔热等功能。

4.1.3 系统材料的燃烧性能应为 A 级，在高温环境下不应产生大量烟雾或有毒气体。

条文说明：

隧道内发生火灾时的烟气控制和减小火灾烟气对人的毒性作用是隧道防火面临的主要问题，要严格控制系统材料的燃烧性能及其发烟量，特别是可能产生大量毒性气体的材料。系统所用材料应具有一定的防火功能以防止隧道内火灾蔓延，减少火灾造成的损失。国家标准《建筑设计防火规范》GB50016-2014 规定，除嵌缝材料外，隧道的内部装修应采用不燃材料。

4.1.4 系统用防火封堵材料应符合现行国家标准《防火封堵材料》GB 23864 和《建筑用阻燃密封胶》GB/T 24267 的规定。

4.1.5 系统所用金属材料 and 金属配件除不锈钢和耐候钢外，均应根据使用需要，采取有效的表面防腐蚀处理措施。

条文说明：

由于系统处于隧道的外表面，系统所用金属构件和金属配件会承受环境中各种不利因素的影响。除不锈钢、耐候钢材料外，碳素结构钢、低合金结构钢等金属材料，都应进行热浸镀锌或其他有效的表面防腐处理，铝合金材料进行表面阳极氧化、电泳涂漆，粉末喷涂、氟碳漆喷涂等有效的表面防腐蚀处理，保证系统的耐久性，防止失效。

4.1.6 密封胶的粘结性能和耐久性应满足设计要求，应具有适用于系统面板基材和接缝尺寸及变位量的类型和位移能力级别，且不应污染所接触的材料。密封胶应有与所接触材料的相容性试验报告，且应在有效期内使用。

条文说明：

面板与建筑密封胶接触部位，密封胶中的小分子如增塑剂等非反应性物质从胶中渗出，渗入到面板孔隙中，使面板表面油污和沾灰。因此，使用前应进行耐污染试验，证实无污染后，才能使用。

建筑密封胶是化学活性材料，经过长期存放，会出现粘结强度降低、耐候性能和伸缩性能下降等问题，必须在有效期内使用。

4.2 铝合金型材

4.2.1 系统用铝合金型材的牌号和状态，壁厚、尺寸偏差、表面处理种类、膜厚及质量，应符合现行国家标准《铝合金建筑型材 第1部分：基材》GB 5237.1、《铝合金建筑型材 第2部分：阳极氧化型材》GB 5237.2、《铝合金建筑型材 第3部分：电泳涂漆型材》GB 5237.3、《铝合金建筑型材 第4部分：粉末喷涂型材》GB 5237.4、《铝合金建筑型材 第5部分：氟碳漆喷涂型材》GB 5237.5、《铝合金建筑型材 第6部分：隔热型材》GB 5237.6 和《建筑用隔热铝合金型材》JG 175 的规定。

条文说明：

由于铝合金重量轻、强度较高，便于挤压成型为各种复杂截面，尺寸精度高，表面处理种类方式多，在瓷板无龙骨干挂内装工程中得到了广泛应用。系统用铝合金型材的质量应符合相关现行国家标准的规定。

4.2.2 铝合金型材表面处理层种类和膜厚应根据构件的工作环境选用，并应满足使用要求。

条文说明：

为防止汽车尾气中的酸性物质腐蚀铝合金型材表面，影响型材的美观和使用寿命，系统用铝合金型材应进行表面防护处理。常用的处理方法有阳极氧化、电泳涂漆、粉末喷涂和氟碳漆喷涂四种，不同的表面处理方法具有不同的耐腐蚀性

能。在进行隧道瓷板无龙骨干挂内装工程设计时，应根据系统的使用环境、腐蚀介质、侵蚀性作用和使用年限进行选用。

4.3 钢材

4.3.1 碳素结构钢和低合金高强度结构钢和碳钢铸件，应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T 3077、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板和钢带》GB 912、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274、《结构用无缝钢管》GB 8162、《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352 等的规定。

4.3.2 不锈钢材宜采用统一数字代号为 S304××和 S316××系列奥氏体型不锈钢，并应符合现行国家标准《不锈钢棒》GB/T 1220、《不锈钢冷加工棒》GB/T 4226、《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280、《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237 和《不锈钢丝》GB/T 4240 等的规定。

不锈钢铸件的牌号和化学成分应符合现行国家标准《一般用途耐蚀钢铸件》GB/T 2100 和《工程结构用中、高强度不锈钢铸件》GB/T 6967 等的规定。

条文说明：

不锈钢材的防锈能力与其铬、镍含量有关。隧道瓷板无龙骨干挂内装工程中，常用的奥氏体不锈钢有统一数字代号为 S304××和 S316××两大系列。其中，数字代号为 S304××系列不锈钢中的镍含量约 9%~10%，含镍铬总量为 27%~29%；数字代号为 S316××系列不锈钢中的镍含量约 12%~14%，含镍铬总量 29%~31%，并增加了 2%~3%的合金元素 Mo。由于镍铬含量和合金元素的不同，其防腐性能和适用的环境也不相同。在进行隧道瓷板无龙骨干挂内装工程设计时，应根据工程所在地的环境条件、腐蚀介质和侵蚀性作用适当选用。

4.3.3 耐候钢应符合现行国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171 的规定。

4.3.4 碳素结构钢、低合金结构钢和低合金高强度结构钢应采取有效的防腐措施，并符合下列规定：

1 采用热浸镀锌防腐处理时，锌膜厚度应符合现行国家标准《金属覆盖层钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法》GB/T 13912 的规定；

2 采用其他防腐涂料时，表面处理方法、涂料品种、漆膜厚度及维护年限应符合现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定，并完全覆盖钢材表面和无端部封板的闭口型材的内侧；

3 采用氟碳漆或聚氨酯漆面漆时，面漆的涂膜厚度应根据钢构件所处的大气环境腐蚀性类别确定。一般情况下，涂膜厚度不宜小于 35 μm，当大气腐蚀环境类型为中腐蚀或海滨地区时，涂膜厚度不宜小于 45 μm。

条文说明：

碳素钢和低合金结构钢的表面宜热浸镀锌处理，钢构件过长不便于浸锌或构件外露且有美观要求时，可采用氟碳涂层或聚氨酯涂层。焊缝可采用富锌防锈漆涂层。闭口型材（空心型材），宜采用端部封口措施，防止型材内部腐蚀，提高型材耐久性。采用氟碳漆或聚氨酯漆面漆时，面漆的涂膜厚度，应根据钢构件所处的大气腐蚀性确定，大气腐蚀环境类别的确定，见国家标准《大气环境腐蚀性分类》GB/T 15957-1995。

4.3.5 钢材之间的焊接，应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。焊接所用的焊条应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117、《热强钢焊条》GB/T 5118、《不锈钢焊条》GB/T 983 等的规定。

条文说明：

焊接工艺、焊接材料是钢材之间焊接质量的基本保证。工程中采用的焊接工艺和焊接材料，应符合设计文件和现行国家标准的规定。

4.4 面板材料

4.4.1 面板应符合应符合下列规定：

- 1 面板耐硬物撞击性能指标不应低于 1 级；
- 2 面板正面的表面耐磨性不应低于 4 级；
- 3 面板宜采用防爆抗裂处理的瓷板；
- 4 面板宜采用亚光釉面瓷板。面板应具有良好的扩散反射率，反射率宜为 0.7~0.8。

条文说明：

1 现行国家标准《建筑幕墙耐撞击性能分级及检测方法》GB/T 38264 规定，当耐硬物撞击性能指标为 2 级时，硬物质量为 1040g，降落高度 h 为 1000mm，撞击能量 E 为 10.2J。

4 墙面的反射与衬托作用在隧道照明中非常重要，不容忽视。当墙面反射率达到 0.7 时，路面亮度可提高 10%。为防止产生影响行车安全的高亮光和眩光，墙面反射率不宜高于 0.8。

4.4.2 幕墙瓷板应符合现行行业标准《建筑幕墙用瓷板》JG/T 217 的规定。

4.4.3 陶瓷砖应符合现行国家标准《陶瓷砖》GB/T 4100 的规定。瓷砖的吸水率不应大于 3%。

4.4.4 纤维复合材的纤维必须为连续纤维，其品种和质量应符合下列规定：

- 1 碳纤维应选用聚丙烯腈基不大于 15K 的小丝束纤维；

2 芳纶纤维应选用饱和吸水率不大于 4.5%的对位芳香族聚酰胺长丝纤维。且经人工气候老化 5000h 后，1000MPa 应力作用下的蠕变值不应大于 0.15mm；

3 玻璃纤维应选用高强度玻璃纤维、耐碱玻璃纤维或碱金属氧化物含量低于 0.8%的无碱玻璃纤维，严禁使用高碱的玻璃纤维和中碱的玻璃纤维。

条文说明：

对瓷板增强用的纤维复合材，本规程选择了以碳纤维、芳纶纤维和玻璃纤维制作，现分别说明如下：

1 碳纤维按其主要原料分为三类，即聚丙烯腈(PAN)基碳纤维、沥青(PITCH)基碳纤维和粘胶(RAYON)基碳纤维。从瓷板增强性能要求来考量，只有聚丙烯腈基碳纤维最符合增强瓷板的安全性和耐久性要求。另外，应指出的是最近市场新推出的玄武岩纤维，由于其强度和弹性模量很低，不能用以替代碳纤维作为瓷板增强材料。

当采用聚丙烯腈基碳纤维时，还必须采用 15K 或 15K 以下的小丝束；严禁使用大丝束纤维。其所以作出这样严格的规定，主要是因为小丝束的抗拉强度十分稳定，离散性很小，其变异系数均在 5%以下，容易在生产和使用过程中，对其性能和质量进行有效的控制；而大丝束则不然，其变异系数高达 15%~18%，且在试验和试用中所表现出的可靠性较差，故不能作为瓷板增强材料使用。

另外，应指出的是，K 数大于 15，但不大于 24 的碳纤维，虽仍属小丝束的范围，但由于我国工程结构使用碳纤维的时间还很短，所积累的成功经验均是从 12K 和 15K 碳纤维的试验和工程中取得的；对大于 15K 的小丝束碳纤维所积累的试验数据和工程使用经验均嫌不足。

2 对芳纶纤维在增强瓷板中的应用，必须选用对位芳香族聚酰胺长丝纤维；同时，还必须采用线密度不小于 3160dtex（分特）的制品；才能确保工程安全。

芳纶纤维韧性好，又耐冲击、耐疲劳。芳纶纤维可用于与碳纤维混杂编织，以减少碳纤维脆性的影响。芳纶纤维的缺点是吸水率较大，耐光老化性能较差。为此，应采取必要的防护措施。

3 对玻璃纤维在增强瓷板中的应用，必须选用高强度的 S 玻璃纤维、耐碱的 AR 玻璃纤维或含碱量低于 0.8%的 E 玻璃纤维（也称无碱玻璃纤维）。至于 A 玻璃纤维和 C 玻璃纤维，由于其含碱量（K、Na）高，强度低，耐水、耐老化性能差，因而应严禁在增强瓷板中使用。

4.4.5 纤维复合材的安全性能必须符合现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 的规定。

4.4.6 纤维复合材的安全性鉴定必须与所选用的配套结构胶同时进行。若该品牌纤维拟与其他品牌结构胶配套使用，应对其抗拉强度标准值、纤维复合材与瓷板正拉粘结强度和层间剪切强度重新做适配性检验。

条文说明：

因为一种纤维与一种胶粘剂的配伍通过了安全性及适配性的检验，并不等于它与其他胶粘剂的配伍，也具有同等的安全性及适配性。故必须重新检验，但检验项目可以适当减少。

4.4.7 纤维织物复合材的单位面积质量应符合表 4.4.9 的规定：

表 4.4.9 不同品种纤维复合材单位面积质量限值 (g/m²)

施工方法	碳纤维织物	芳纶纤维织物	玻璃纤维织物	
			高强度玻璃纤维	无碱或耐碱玻璃纤维
手工涂布胶粘剂	≤300	≤450	≤450	≤600
真空灌注胶粘剂	≤450	≤650	≤550	≤750

条文说明：

纤维织物复合材的单位面积质量之所以必须严格限制，主要是因为织物太厚时，室温固化型结构胶将很难浸润和渗透，极易因纤维内部缺胶或胶液分布不均而严重影响纤维复合材的粘结性能。

4.5 连接件与紧固件

4.5.1 系统常用紧固件应符合下列规定：

1 螺钉、螺栓的材质和机械性能应符合现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1、《紧固件机械性能螺母》GB/T 3098.2、《紧固件机械性能 自攻螺钉》GB/T 3098.5、《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6、《紧固件机械性能 自钻自攻螺钉》GB/T 3098.11、《紧固件机械性能 不锈钢螺母》GB/T 3098.15 等的规定；

2 螺钉、螺栓的品种、规格应符合现行国家标准《I 型六角螺母 C 级》GB/T 41、《平垫圈 C 级》GB 95、《平垫圈 A 级》GB 97.1、《十字槽盘头螺钉》GB/T 818、《十字槽盘头自攻螺钉》GB 845、《轻型弹簧垫圈》GB 859、《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780、《六角头螺栓 全螺纹 C 级》GB/T 5781、《自钻自攻螺钉》GB/T 15856.1~GB/T 15856.5 等的规定；

3 后锚固连接用机械锚栓应符合现行行业标准《混凝土用膨胀型、扩孔型建筑锚栓》JG 160 的规定。后锚固连接用胶粘型锚栓应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定。

4.5.2 面板与隧道主体结构之间，宜采用钢连接件或铝合金连接件。钢连接件的材质和表面防腐处理应分别符合本规程第 4.4.1 条、第 4.4.2 条和第 4.4.4 条的规定。铝合金型材连接件的材质和表面处理应符合本规程第 4.3 节的有关规定。

条文说明：

面板与隧道主体结构之间的连接件，传统上采用碳素结构钢、合金结构钢、低合金高强度结构钢或不锈钢制作。由于铝合金型材尺寸精度高，近年来，采用铝合金型材作为面板与隧道主体结构之间的连接件，在瓷板无龙骨干挂装饰系统中也得到了广泛使用。在进行面板与隧道主体结构之间的连接件设计时，要综合考虑连接件的最小承载能力、截面局部稳定、耐久性（耐腐蚀性能）要求，选用适宜的材质、厚度和表面处理方法。

采用其他材质连接件（如铸钢件）时，材质和表面处理则应符合相关现行标准的规定。

4.5.3 系统面板用不锈钢挂件，宜采用经固溶处理的奥氏体型不锈钢制品。

条文说明：

本规程所规定的不锈钢材料的强度设计值，是在现行国家标准《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280 和《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237 规定相应钢种的规定非比例延伸强度 ($R_{p0.2}^b$) 基础上确定的，是奥氏体型不锈钢进行固溶处理后的力学性能。不锈钢进行固溶处理后，可以使其成分和组织均匀一致，消除内应力，恢复不锈钢的耐蚀性能。不仅有利于挂件的折弯成形，同时也保证了挂件的耐久性。

4.5.4 系统面板用铝合金型材挂件，表面应进行防腐蚀处理并符合设计要求。

条文说明：

为提高铝合金型材挂件的耐久性，表面应进行防腐蚀处理。

4.7 其他材料

4.7.1 系统中所使用的胶粘剂，均宜采用改性环氧树脂胶粘剂，其性能均应符合现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 的规定。严禁使用不饱和聚酯树脂和醇酸树脂作为胶粘剂。

条文说明：

经过数十年的实践，如今国际上已公认专门研制的改性环氧树脂胶为加固结构首选的胶粘剂；尤其是对粘接纤维复合材而言，不论从抗剥离性能、耐环境作用性能、耐应力长期作用性能，还是抗冲击、抗疲劳性能来考察，都是其他品种胶粘剂所无法比拟的。但应注意的是：这些良好的胶粘性能均是通过使用高性能

固化剂和其他改性剂进行改性和筛选才获得的,从而也才消除了环氧树脂固有的脆性缺陷。因此,在使用前必须按现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 进行检验和鉴定。在确认其改性效果后才能保证其粘结的可靠性。至于不饱和聚酯树脂及醇酸树脂,由于其耐潮湿、耐水和耐老化性能极差,因而不允许用作承重结构加固的胶粘剂。

面板挂件与安装槽口之间一般都存在间隙,为防止挂件与槽口刚性接触而造成面板损坏,防止面板滑移,挂槽和挂件之间的空隙要灌注胶粘剂进行填充。填充用胶粘剂应根据面板材料和挂装结构形式以及胶粘剂的许用范围选用。为防止胶粘剂对面板材料造成污染,使用前宜进行污染性试验。

4.7.2 清洗面板的清洁剂,宜选用中性清洁剂,应对大气无污染,对人员健康无毒害,与墙面材料不发生化学反应,无腐蚀性。

征求意见稿

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 隧道瓷板无龙骨干挂装饰系统应按隧道外围护结构设计，系统设计使用年限不应少于 30 年。

条文说明：

隧道瓷板无龙骨干挂装饰系统是由面板和支承结构组成的隧道外围护结构体系，主要承受自重以及直接作用于其上的风荷载、地震作用、温度作用等，不承担隧道主体结构承受的荷载和（或）地震作用。行业标准《公路工程技术标准》JTG B01-2014 规定，隧道的可更换、修复构件设计使用年限为 30 年。

5.1.2 系统应具有足够的承载能力、刚度和相对于隧道主体结构的位移能力。

条文说明：

瓷板无龙骨干挂装饰系统同瓷板有龙骨干挂装饰系统相比减少了横梁和立柱，面板通过支承角码与隧道主体结构直接连接，虽然结构形式变简单，但各构件的结构设计并不因此简单，而应满足承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求。通过挂件和支承角码之间的机械连接，使瓷板无龙骨干挂装饰系统具有一定的变形协调能力，这是瓷板无龙骨干挂装饰系统与普通粘贴瓷板的区别。

5.1.3 系统的抗风压性能设计应符合下列规定：

1 系统的抗风压性能指标值，应按不低于现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中规定的围护结构风荷载标准值 w_k 确定；

2 在风荷载标准值 w_k 的作用下，系统结构的变形不应大于规定值，并且不应发生损坏。

5.1.4 抗震设防烈度为 6 度及以上地区的系统，应进行抗震设计。抗震设防的系统，在满足抗风设计要求的基础上，还应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 对建筑非结构构件的抗震设计要求。

条文说明：

我国是多地震国家，系统设计应区分是否属于地震设计状况。对非抗震设防地区，进行系统设计时，只需考虑风荷载、重力荷载以及温度作用；对抗震设防地区，必须考虑地震作用，进行抗震设计。系统属于非结构构件，根据国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010 的规定，抗震设防烈度为 6 度及以上地区，要采用等效侧力法，对系统自身及其与主体结构的连接进行抗震设计计算。

经验表明，对于接近竖直的系统，风荷载是主要的作用，其数值可达 $2.0\sim 5.0\text{kN/m}^2$ 。因为系统自重较轻，即使按最大地震作用系数考虑，一般也只有 $0.1\sim 0.8\text{kN/m}^2$ ，远小于风荷载作用。因此，无论是否抗震设计，均应以抗风设计为主。但是，由于地震是动力作用，并且直接作用于连接节点，造成连接损坏、失效，甚至使系统脱落、倒坍。因此，抗震设计的系统，不仅要以抗震设计和抗风设计中最不利的荷载和作用效应组合，进行结构设计，还必须加强构造措施。

5.1.5 系统结构设计应考虑温度作用效应影响，并应采取构造措施。

条文说明：

隧道瓷板无龙骨干挂内装工程中，尤其是洞口段，温度变化引起的作用效应是实际存在的，工程实践证明，通过结构构造措施消除这些效应的影响是简单、可行的办法，因此，可不一一进行计算。但是，在采用线膨胀系数偏大的构件材料或昼夜温差较大、温度变化激烈地区的隧道瓷板无龙骨干挂内装工程中，应进行设计计算并采取必要的构造措施，防止温度作用效应引起的系统破坏。

5.1.6 隧道主体结构中，连接系统的预埋件、锚固件部位，应能承受系统传递的荷载和作用。抗震设计时，应考虑系统对主体结构的不利影响。

条文说明：

系统与隧道主体结构通过预埋件或锚固件连接，要充分考虑系统传递的荷载和作用对隧道主体结构造成的不利影响。埋设预埋件或设置锚固件的部位，是隧道主体结构中承受系统传递的荷载和作用的关键部位，必须安全可靠。进行系统方案设计时，系统设计人员应主动提供系统传递给隧道主体结构的各种荷载和作用的参数，供隧道结构设计师对隧道主体结构进行计算验证，消除安全隐患。

5.2 系统构造设计

5.2.1 系统构造设计应能满足维护和清洗要求，系统面板宜便于更换。

条文说明：

系统构造设计，应为系统维护、清洗以及面板更换提供条件。

5.2.2 系统构造层厚度宜控制在 50mm 以内，并应在净空断面设计时予以考虑。

条文说明：

系统构造层厚度系指面板外表面至衬砌结构表面间的垂直距离。行业标准《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》JTG 3370.1 规定，隧道内轮廓净空断面应满足隧道建筑限界所需空间，并预留不小于 50mm 的富余量。系统构造层厚度增大时，需扩大隧道断面，从而导致开挖和支护费用提高。

5.2.3 系统的连接节点应有可靠的防松、防脱和防滑措施。系统的常见节点构造可参考附录 A。

5.2.4 系统中不同种类金属材料的直接接触处，应设置绝缘垫片或采取其他有效的防腐蚀措施。

条文说明：

不同金属相互接触处容易产生双金属腐蚀，会降低系统的耐久性或污染系统表面，影响系统的安全性和外观。因此，要求设置绝缘垫片或采取其他措施防止两种不同金属直接接触。当采用绝缘垫片安装比较困难时，可在接触部位涂氟碳漆或磁漆也可进行绝缘。

5.3 面板设计

5.3.1 面板的构图、色调应与隧道整体及周围环境相协调。隧道装修设计宜体现交通性建筑简洁、明快、流畅的特点。面板色彩宜采用浅色，特长隧道面板色彩可分段变化，避免行车视觉疲劳。

条文说明：

构图、色调应与隧道整体的协调是建筑美学的需要。内装还应与周围环境相协调，尤其是外观造型和颜色方面的协调。

5.3.2 面板设计应符合材质性能、加工制作、运输安装和维护更换的要求。

5.3.3 面板设计应满足拆卸或更换时不损坏其相邻部位构件或结构的要求。

条文说明：

系统面板在使用过程中，会受到意外破坏或自然损坏，需要更换。面板设计应能满足正常维护和更换的需要。

5.3.4 瓷板厚度应不小于 13mm；单片瓷板面积不宜大于 1.5m²。瓷板常用规格可按表 5.3.4 的规定选用。表面分格应与整体结构相协调。面板模数选择宜利于提高板材的出材率。

条文说明：

本条列出常用的瓷板规格，供选用瓷板时参考。隧道内轮廓为曲边墙时瓷板宽度宜取小值，隧道内轮廓为直边墙时瓷板宽度宜取大值。面板模数应适当选择，以便提高面板材料的利用率。

5.3.5 增强瓷板基本构造（图 5.3.5）应由瓷板、粘结层、纤维复合材和封闭层构成。

表 5.3.4 瓷板常用规格 (mm)

公称尺寸	标准尺寸		
	宽度	长度	厚度
300×600	300	600	13
600×600	600	600	13
400×800	400	800	13
800×800	800	800	13
500×1000	500	1000	13
1000×1000	1000	1000	13
600×1200	600	1200	13
800×1200	800	1200	13
1200×1200	1200	1200	13

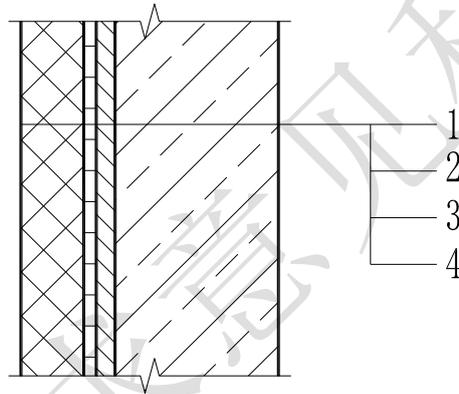


图 5.3.5 增强瓷板构造示意图

1-封闭层；2-纤维复合材；3-粘结层；4-瓷板

5.3.6 瓷板背面纤维复合材胶层厚度 (δ) 应符合下列要求:

- 1 对纤维织物 (布): $\delta = (1.5 \pm 0.5) \text{mm}$;
- 2 对预成型板: $\delta = (2.0 \pm 0.3) \text{mm}$ 。

5.3.7 面板的设置高度应综合考虑隧道的使用功能、断面尺寸、照明需要及美观等因素,公路隧道宜在检修道以上 2~3.5m 范围内设置,城市隧道可在侧墙范围内设置。

条文说明:

现行行业标准《公路隧道照明设计细则》JTG/T D70/2-01 规定,路面两侧 2m 高范围内墙面宜铺设反射率高的材料。现行行业标准《公路隧道设计细则》JTG/T D70 规定,装饰面板的设置高度应考虑隧道断面尺寸、照明需要及美观等因素,宜控制在 2~3.5m 范围内。城市隧道一般对隧道内景观要求较高,可在侧墙范围内设置装饰面板。

5.3.8 隧道侧墙宜设置诱导腰带，腰带应能对驾驶人进行有效视线诱导。腰带处面板的长度和厚度应与竖向相邻的面板一致，宽度不宜小于 300mm。诱导腰带距路面高度宜为 1.2~2m。

条文说明：

为隧道内提高行车的安全性和舒适性，指示道路前方线形非常重要，设置诱导腰带就是诱导驾驶人视线，标明公路几何线形的有效办法。驾驶人能明了前方道路线形，从而能快速、舒适地行驶，增加行车安全水平，有效地避免交通事故。参考行业标准《公路工程技术标准》JTG B01-2014 条文说明，小客车驾驶员视点高度为 1.2m，载重货车驾驶员视点高度为 2m。

5.4 面板接缝设计

5.4.1 系统的面板接缝应能够适应由于风荷载、地震作用和温度变化以及自重作用而产生的面板相对位移。

条文说明：

在正常使用状态下，系统的竖向板缝主要考虑隧道主体结构纵向变形及温度变化热胀冷缩而产生的尺寸变化；系统的横向板缝主要考虑隧道主体结构竖向变形和面板自重而产生的尺寸变化。

5.4.2 变形缝设计应满足隧道主体结构的设缝要求。系统与隧道主体结构相对应的构造缝，应能够适应隧道主体结构的变形要求。系统面板不应跨越隧道主体结构的变形缝。

条文说明：

隧道主体结构变形缝两侧会发生较大的相对位移，跨越变形缝并同时连接固定在变形缝两侧隧道主体结构上的系统板块很容易破坏。因此。系统板块不宜直接跨越变形缝，而应当采用与隧道主体结构变形相适应的构造措施。

5.4.3 系统面板接缝宜采用开放式板缝。

条文说明：

瓷板是高温烧制的吸水率低、耐候性好的匀质材料，采用开放式和封闭式均可。为便于隧道衬砌病害检测、处治时拆卸或更换系统面板，面板接缝宜采用开放式。

5.4.4 面板板缝宽度不应小于 6mm，开放式板缝尚应符合下式的规定：

$$c_1 \left(1 + \frac{l_1}{l_2} \times \frac{c_2}{c_1} \right) \geq u_{\text{lim}} \quad (5.5.5)$$

式中： u_{lim} ——由隧道主体结构位移引起的分格框的变形限值（mm）；按照抗震设计和非抗震设计确定；

l_1 ——矩形面板板块竖向边长（mm）；

l_2 ——矩形面板板块横向边长（mm）；

c_1 ——开缝式板缝竖向接缝宽度；取值时应考 1.5mm 的施工偏差；

c_2 ——开缝式板缝横向接缝宽度；取值时应考 1.5mm 的施工偏差。

条文说明：

隧道主体结构的变形、构件和面板的温度变化，会造成面板位移甚至碰撞破损。因此面板之间应当留有缝隙。公式（5.5.5）是考虑到两个板块反方向移动的极端状况，取横、竖接缝的一半计算。

5.5 连接设计

5.5.1 面板与隧道主体结构间的连接构造应有足够的强度、刚度和相对位移的能力，且应便于制作安装、维护保养及局部更换面板或构件。

条文说明：

系统面板在使用过程中，可能会因意外破损或其他原因，而需要定期清洗或更换面板。因此，系统设计应能满足维护和清洗的需要。

5.5.2 挂件的长度不宜小于 50mm；挂件用不锈钢材料和铝合金型材的截面厚度均不宜小于 2.0mm；调节槽长度不宜小于 20mm；调节槽至挂件边缘的距离不得小于 10mm。常用挂件可参考附录 B。

条文说明：

系统面板承受的荷载和作用效应通过挂件传递到支承结构上。挂件的材质、形状和截面厚度与挂件的承载能力直接有关，是保证系统安全的基础条件之一。面板挂件直接暴露在空气中，容易受到腐蚀，降低其耐久性。因此，应采用耐候性能好的不锈钢或铝合金型材制作。

5.5.3 挂件与面板的连接构造设计应符合下列规定：

- 1 挂件应具有三维调整能力，且宜实现面板独立安装与拆卸；
- 2 宜采用只承受一块面板自重荷载的挂件；
- 3 挂件在承托面板处宜设置弹性垫片，垫片厚度不宜小于 2.0mm；
- 4 挂件外侧边与面板边缘的距离不宜小于板厚的 3 倍，且不宜小于 50mm；
- 5 挂件安装槽口中心线宜以外表面为基准定位，并宜位于面板计算厚度的中

心；

- 6 挂件插入槽口的深度不宜小于 8mm，也不宜大于 12mm；
- 7 挂件与面板之间的空隙应填充胶粘剂，且不得污染面板。

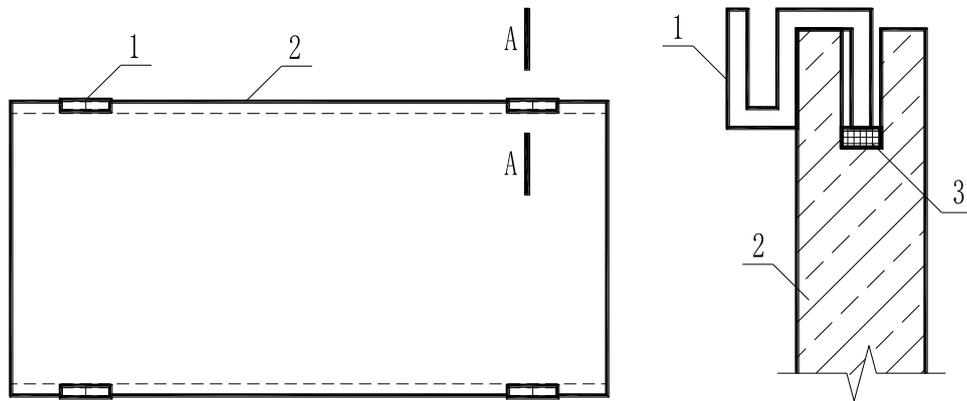


图 5.5.3 挂件与面板的连接构造
1-挂件；2-加强瓷板；3-弹性垫片

条文说明：

瓷板无龙骨干挂装饰系统没有立柱和横梁，因此宜通过挂件系统实现三维位置调节。

挂件的连接设计必须考虑面板的自重、风荷载、地震作用、温度效应以及隧道主体结构变形等产生的影响。

一些嵌入式连接件（如挑件、T形挂件等）应用较广，但缺点较多，应限制使用，这些挂件连接的缺点主要表现在：将相邻面板连接成为整体，使得面板不能相对主体结构发生位移，会导致面板破裂损坏甚至脱落；挂件连接的面板不能独立安装和拆卸；更换后的面板通常仅靠胶粘剂固定，存在一定的安全隐患，因此不宜采用。

在风荷载、地震、温度变化以及主体结构变形等作用的影响下，面板会产生滑移甚至跳动，并难以恢复原状，不仅影响外观，还存在不安全因素。应采用胶粘剂对挂件与槽口之间的空隙进行填充，防止面板移位和挂件与面板直接接触。填充用胶粘剂应根据面板材料和结构形式以及胶粘剂的许用范围选用并不应污染面板。

挂件外侧边与面板边缘的距离、挂件的入槽深度、槽口中心线与面板的相对位置，关系到面板的承载能力及系统外表面的平整度，应进行控制。

5.5.4 支承角码宜采用热轧角钢，靠墙一侧翼缘高度不应小于 50mm，壁厚不应小于 3mm，角码长度不应小于 100mm。表面应采用热浸镀锌防腐处理。铝合金角码或托件的厚度不应小于 4mm。

5.5.5 面板挂件与支承角码之间的连接螺栓应满足抗拉、抗剪、抗扭承载力的要求。螺栓应采用奥氏体型不锈钢制品；螺栓的螺纹规格不应小于 M6。

条文说明：

挂件与支承构件的连接应牢固、可靠，连接用紧固件的材质应保证其耐久性。

5.5.6 系统应与隧道主体结构可靠连接。连接件与隧道主体结构的锚固承载力设计值应大于连接件本身的承载力设计值。

条文说明：

系统是依附于隧道主体结构的围护构件，其与主体结构的连接锚固点，是系统支承结构的固定支座，除了要满足系统自重荷载、风荷载和温度作用的承载能力要求，还要留有充分的余地，以防止地震作用或其他偶然因素作用而产生的突然破坏。

5.5.7 系统与隧道主体结构采用后锚固连接时，应符合下列规定：

1 锚栓的材质和性能应符合现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 和现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定；

2 机械锚栓应采用有锁键效应的后扩底锚栓，这类锚栓按其构造方式的不同，又分为自扩底、模扩底和胶粘-模扩底三种。胶粘型锚栓应采用特殊倒锥型锚栓；

3 在与胶粘型锚栓接触的连接件上，不宜进行连续焊缝的焊接；

4 锚栓直径应通过承载力计算确定，并且不应小于 10mm；

5 锚栓连接应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 中非结构构件的有关规定，后锚固连接安全等级可取二级，锚栓锚固承载力分项系数不宜小于 1.8。锚栓连接的承载能力应进行设计验算，并进行现场检验。

条文说明：

根据全国建筑物鉴定与加固标准技术委员会近年来对各种锚栓所进行的安全性检测及其使用效果的观测结果，从中筛选了三种适合于承重结构使用的机械锚栓，即自扩底锚栓、模扩底锚栓和胶粘型模扩底锚栓，之所以选择这三种锚栓，主要是因为它们嵌入基材混凝土后，能起到机械锁键作用，并产生类似预埋的效应，而这对承载的安全至关重要。至于胶粘型模扩底锚栓，由于增加了结构胶的粘结，还可以在增加安全储备的同时，起到防腐蚀的作用，宜在有这方面要求的场合应用。

对于化学锚栓，由于目前市场上品牌多，存在着鱼龙混杂的现象，兼之不少单位在设计概念和计算方法上还很混乱，因而不能任其在承重结构中滥用。为此，

本规程此次编制做了两项工作：一是不再采用“化学锚栓”这个不科学的名称，而改名为“胶粘型锚栓”；二是在经过筛选后，仅纳入能适应开裂混凝土性能的“特殊倒锥形胶粘型锚栓”。其所以这样做，是因为目前能用于承重结构的胶粘型锚栓，均是经过特殊设计和验证性试验后才投入批量生产的，而且尽管有不同品牌，但其承载原理都是相同的，即：通过材料粘合和具有挤紧作用的嵌合来取得安全承载的效果，以达到提高锚固安全性之目的。

5.5.8 锚栓锚固基材可为钢筋混凝土、预应力混凝土或素混凝土构件。冻融受损混凝土、腐蚀受损混凝土、严重裂损混凝土、不密实混凝土等，不应作为锚固基材。基材混凝土强度等级不应低于 C20。

条文说明：

混凝土作为后锚固连接的主体，必须坚固可靠，存在严重缺陷和混凝土强度等级较低的基材，锚固承载力较低，且很不可靠。

征求意见稿

6 结构计算

6.1 一般规定

6.1.1 系统构件可采用弹性方法计算内力与位移，计算模型应与构件连接的实际情况相符合，计算假定应与结构的实际工作性能相符合。

条文说明：

目前，结构设计的标准是小震下保持弹性，不产生损害。在这种情况下，系统也应处于弹性状态。因此，本规程中有关的内力计算均采用弹性计算方法进行。

6.1.2 系统结构设计应计算下列作用效应：

- 1 非抗震设计时，应计算重力荷载、风荷载，必要时还应考虑温度作用效应；
- 2 抗震设计时，应计算重力荷载、风荷载和地震作用效应。

条文说明：

系统承受永久荷载（自重荷载）、风荷载和温度作用；地震设计状况时，还要考虑地震作用。各种构件产生的内力（应力）和变形不同，情况比较复杂，设计上也可能有不同要求。本规程要求分别进行永久荷载、风荷载、地震作用效应计算。

温度作用的影响，一般可采取适当构造措施消除，可不一一进行计算。但是，在采用线膨胀系数偏大的构件材料或昼夜温差较大、温度变化激烈地区的隧道瓷板无龙骨干挂内装工程中，应进行设计计算并采取必要的构造措施，防止温度作用效应引起的系统破坏。

6.1.3 系统结构构件应按下列规定进行承载力计算和挠度验算：

- 1 持久设计状况、短暂设计状况：

$$\gamma_0 S_d \leq R \quad (6.1.3-1)$$

- 2 地震设计状况：

$$S_E \leq R / \gamma_{RE} \quad (6.1.3-2)$$

式中： S_d ——荷载按基本组合的效应设计值；

S_E ——地震作用和其他荷载按基本组合的效应设计值；

R ——构件抗力设计值；

γ_0 ——结构重要性系数，可取 1.0；

γ_{RE} ——构件承载力抗震调整系数，可取 1.0。

3 挠度验算应符合下式规定：

$$d_f \leq d_{f,lim} \quad (6.1.3-3)$$

式中： d_f ——构件在风荷载标准值或永久荷载标准值作用下产生的挠度值（mm）；

$d_{f,lim}$ ——构件挠度限值（mm）。

条文说明：

承载能力极限状态设计时，应考虑作用效应的基本组合；正常使用极限状态设计时，作用的分项系数均取 1.0。本条给出的承载力设计表达式具有通用意义，作用效应设计值 S 或 S_E 可以是内力或应力，抗力设计值 R 可以是构件的承载力设计值或材料强度设计值。系统属于隧道的外围护结构，其重要程度和破坏后果的严重程度通常低于隧道主体结构，因此系统结构构件的重要性系数 γ_0 可取 1.0。

由于系统自重比较轻，其地震作用效应相对风荷载效应是比较小的，通常不会大于 20%，如果采用小于 1.0 的系数 γ_{RE} 对抗力予以放大，对结构设计是偏于不安全的。所以，系统构件承载力抗震调整系数 γ_{RE} 取 1.0。

系统面板不便于采用内力设计表达式，所以，在本规程相关条文中直接采用应力表达形式；锚固件设计时，则采用内力表达式。采用应力设计表达式时，计算应力所采用的内力（如弯矩、剪力等），应采用作用效应的基本组合，并取最不利组合进行设计。

6.2 材料力学性能

6.2.1 常用的热轧钢材、冷成型薄壁型钢和铝合金型材的强度设计值应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和《铝合金结构设计规范》GB 50429 的规定。

6.2.2 耐候钢的强度设计值可按表 6.2.2 的规定采用。

表 6.2.2 耐候钢的强度设计值（N/mm²）

钢号	厚度 t (mm)	下限屈服强度 R_{eL}	抗拉强度 f	抗剪强度 f_v	端面承压强度 f_{ce}
Q235NH	$t \leq 16$	235	215	125	295

Q295NH	$t \leq 16$	295	270	155	345
	$16 < t \leq 40$	285	260	150	345
Q295GNH (Q295GNHL)	$t \leq 16$	295	270	155	345
	$16 < t \leq 40$	285	260	150	345
Q355NH	$t \leq 16$	355	325	190	400
	$16 < t \leq 40$	345	315	185	400
Q355GNH (热轧)	$t \leq 16$	355	325	190	400
	$16 < t \leq 40$	345	315	185	400
Q460NH	$t \leq 16$	460	415	240	450
	$16 < t \leq 40$	450	405	235	450

条文说明:

耐候钢强度设计值参照国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171-2008 规定的力学性能指标值和《钢结构设计规范》GB 50017-2017 的规定确定。

6.2.3 不锈钢抗拉强度标准值可取其规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}^b$ 。不锈钢抗拉强度设计值可按其抗拉强度标准值除以材料分项系数 1.15 后采用；其抗剪强度设计值可按其抗拉强度标准值除以材料分项系数 2.0 后采用。

6.2.4 瓷板的抗弯强度设计值 f 可取 15.0N/mm^2 ；其抗剪强度设计值 f_v 可取 7.5N/mm^2 。

条文说明:

面板的抗弯强度设计值等于抗弯强度标准值除以面板材料性能分项系数，瓷板的材料性能分项系数可取 1.8。

6.2.5 材料的重力密度标准值、弹性模量和泊松比应按表 6.2.5 的规定采用。

表 6.2.5 材料的重力密度标准值、弹性模量和泊松比

材料	重力密度标准值 γ_{gk} (kN/m^3)	弹性模量 E (N/mm^2)	泊松比 ν
钢材、不锈钢	78.5	2.06×10^5	0.30
铝合金	28.0	0.7×10^5	0.30
瓷板	22.5~23.5	0.6×10^5	0.25

6.2.6 材料的线膨胀系数可按表 6.2.6 的规定采用。

表 6.2.6 材料的线膨胀系数 α ($1/^\circ\text{C}$)

材料	α
混凝土	1.0×10^{-5}

钢材	1.20×10^{-5}
不锈钢	1.80×10^{-5}
铝合金型材	2.35×10^{-5}
瓷板	0.60×10^{-5}

6.3 荷载与作用

6.3.1 系统的面板及其连接件，其风荷载标准值 w_k 应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中规定的围护结构风荷载标准值确定，并且不应小于 1.0kN。条文说明：

风荷载标准值可根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定计算，本规程不另作要求。

6.3.2 风荷载环境复杂的工程，宜进行风洞试验，并按照风洞试验结果确定风荷载值。

条文说明：

对于风荷载环境比较复杂的隧道瓷板无龙骨干挂内装工程，风荷载局部体型系数不能简单地按照墙面和墙角边进行区分。为了保证风荷载的取值更加准确，避免造成系统局部安全度偏高或偏低，宜进行风洞试验，并按照风洞试验结果确定其风荷载值。

6.3.3 系统面板以及与面板直接连接的连接件，其垂直于面板平面的分布水平地震作用标准值可按下式计算：

$$q_{Ek} = \beta_E \alpha_{\max} G_k / A \quad (6.3.3)$$

式中： q_{Ek} ——垂直于面板平面的分布水平地震作用标准值（kN/m²）；

β_E ——动力放大系数，可取不小于 5.0；

α_{\max} ——水平地震影响系数最大值，按表 6.3.3 采用；

G_k ——系统构件（包括面板、构件和连接件）的重力荷载标准值（kN）；

A ——面板平面面积（m²）。

表 6.3.3 水平地震影响系数最大值 α_{\max}

抗震设防烈度	6 度	7 度	8 度
--------	-----	-----	-----

α_{\max}	0.04	0.08 (0.12)	0.16 (0.24)
-----------------	------	-------------	-------------

注：7度、8度时括号内数值分别用于设计基本地震加速度为0.15g和0.30g的地区。

条文说明：

根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定，非结构构件自身重力产生的地震作用可采用等效侧力法计算。采用等效侧力法时，水平地震作用标准值由设计加速度、功能（或重要）系数、构件类别系数、位置系数、动力放大系数和构件重力六个参数决定。各项参数可按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011有关条文说明中的规定取值，水平地震作用标准值宜按下列公式计算：

$$F = \gamma \eta \xi_1 \xi_2 \alpha_{\max} G$$

式中： F ——沿最不利方向施加于非结构构件重心处的水平地震作用标准值；

γ ——非结构构件功能系数；取1.4；

η ——非结构构件类别系数；取0.9；

ξ_1 ——状态系数；可取2.0；

ξ_2 ——位置系数；按照系统的顶点选取，可取2.0；

α_{\max} ——地震影响系数最大值；按照本规程表6.3.3的规定选取；

G ——幕墙构件的重力。

计算得到：

$$F = \gamma \eta \xi_1 \xi_2 \alpha_{\max} G = 5.04 \alpha_{\max} G$$

本规程采用动力放大系数 β_E 代替 γ 、 η 、 ξ_1 、 ξ_2 四个系数的乘积，并规定 β_E 可取不小于5.0，与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的规定是一致的。

6.3.4 系统面板以及与面板直接连接的连接件，其平行于面板平面的集中水平地震作用标准值可按下式计算：

$$P_{Ek} = \beta_E \alpha_{\max} G_k \quad (6.3.4)$$

式中： P_{Ek} ——平行于面板平面的集中水平地震作用标准值（kN）。

条文说明：

竖直系统的面板以及与面板直接连接的连接件除了承受水平方向(垂直于面板)的地震作用之外,还受到平行于面板平面的集中水平地震作用(竖向地震作用)。在进行系统设计时,必须加以考虑。

6.3.5 连接件和锚固件所承受的地震作用,应考虑系统自身重力荷载产生的地震作用,尚应考虑依附于系统上的其他构件传递的地震作用。

6.4 荷载及作用效应组合

6.4.1 系统构件承载力设计时,其荷载与作用效应的组合符合下列规定:

1 持久设计状况、短暂设计状况的效应组合应按下列式计算:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_w S_{wk} + \psi_T \gamma_T S_{Tk} \quad (6.4.1-1)$$

2 地震设计状况的效应组合应按下列式计算:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \psi_E \gamma_E S_{Ek} + \psi_w \gamma_w S_{wk} \quad (6.4.1-2)$$

式中: S ——荷载及作用效应组合的设计值;

S_{Gk} ——重力荷载(永久荷载)效应标准值;

S_{wk} ——风荷载效应标准值;

S_{Ek} ——地震作用效应标准值;

S_{Tk} ——温度作用效应标准值,对变形不受约束的构件,可取 0;

γ_G ——重力荷载分项系数;

γ_w ——风荷载分项系数;

γ_E ——地震作用分项系数;

γ_T ——温度作用分项系数;

ψ_w ——风荷载的组合值系数;

ψ_E ——地震作用的组合值系数;

ψ_T ——温度作用的组合值系数。

条文说明:

作用在系统上的风荷载、地震作用都是可变作用,同时达到最大值的可能性很小。因此,在进行效应组合时,第一个可变作用的效应应按 100%考虑(组合值系数取 1.0),第二个可变作用的效应可进行适当折减(乘以小于 1.0 的组合值系数)。

在重力荷载、风荷载、地震作用下,系统构件产生的内力(应力)应按基本组合进行承载力极限状态设计,求得内力(应力)的设计值,以最不利的组合作为设计的依据。作用效应组合时的分项系数按现行国家标准《建筑结构荷载规范》

GB 50011 和《建筑抗震设计规范》GB 50009 的规定采用。

6.4.2 进行系统构件的承载力设计时，荷载及作用分项系数应按下列规定取值：

1 一般情况下，永久荷载、风荷载、地震作用、温度作用的分项系数 γ_G 、 γ_w 、 γ_E 、 γ_T 应分别取 1.2、1.4、1.3 和 1.4；

2 当永久荷载的效应起控制作用时，其分项系数 γ_T 应取 1.35；此时，参与组合的可变荷载效应仅限于竖向荷载效应。

条文说明：

结构的自重是经常作用的永久荷载，所有的基本组合工况中都必须包括这一项。当永久荷载（重力荷载）的效应起控制作用时，其分项系数 γ_G 应取 1.35，但参与组合的可变作用仅限于竖向荷载，且应考虑相应的组合值系数。一般情况下，当重力荷载的效应起控制作用时（ γ_G 取 1.35），可不考虑风荷载和地震作用。当永久荷载作用对结构设计有利时，其分项系数 γ_G 应取不大于 1.0。

6.4.3 可变荷载及作用的组合值系数应按下列规定采用：

1 持久设计状况、短暂设计状况且风荷载效应起控制作用时，风荷载组合值系数 ψ_w 应取 1.0，温度作用组合值系数 ψ_T 应取 0.6；

2 持久设计状况、短暂设计状况且温度作用效应起控制作用时，风荷载组合值系数 ψ_w 应取 0.6，温度作用组合值系数 ψ_T 应取 1.0；

3 持久设计状况、短暂设计状况且永久荷载效应起控制作用时，风荷载组合值系数 ψ_w 和温度作用组合值系数 ψ_T 均应取 0.6；

4 地震设计状况时，风荷载组合值系数 ψ_w 应取 1.0，地震作用的组合值系数 ψ_E 取 0.5。

条文说明：

在现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中规定，当地震作用与风荷载同时考虑时，风的组合值系数取为 0.2。由于系统受风荷载影响较为显著，风荷载作用效应比地震作用效应大，应作为第一可变作用，其组合值系数一般取 1.0。地震作用作为第二个可变荷载时，现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50011 和《建筑抗震设计规范》GB 50009，都没有规定确切的组合值系数；考虑到隧道瓷板无龙骨干挂内装工程中地震作用效应一般不起控制作用，同时考虑到系统结构设计的安全性，本规程规定其组合值系数取 0.5。

因为本规程仅考虑竖向系统和与水平面夹角大于 75 度、小于 90 度的倾斜系统，且抗震设防烈度不大于 8 度，所以，可不考虑竖向地震作用效应的计算和组合。

系统结构构件承载力设计中，理论上可考虑下列典型组合工况：

无地震作用设计状况：

$$1.2G+1.0\times 1.4W$$

有地震作用设计状况：

$$1.2G+1.0\times 1.4W+0.5\times 1.3E$$

以上组合工况中，G、W、E 分别代表重力荷载、风荷载和地震作用标准值产生的应力或内力。另外，作用效应组合时，应注意各种作用效应的方向，不同方向的作用效应一般不进行组合。

6.4.4 系统构件挠度验算时，水平方向的风荷载的变形效应，应按风荷载的标准值进行计算；垂直方向的自重荷载变形效应，应按自重荷载标准值进行计算。水平方向和垂直方向的荷载与作用变形效应不应进行组合。

条文说明：

根据系统构件的受力和变形特征，正常使用状态下，对构件变形或挠度验算时，一般不考虑不同效应的组合。因地震作用效应相对风荷载效应较小，不必单独进行地震作用下结构的变形验算。在风荷载或重力荷载作用下，系统构件的挠度应符合挠度限值要求，且挠度计算时，作用分项系数应取 1.0。

6.5 面板计算

6.5.1 面板设计时，面板截面的计算厚度 t_e 应按下列规定确定：正面平整时，按公称厚度（总厚度）减去背纹厚度采用；正面有装饰花纹时，还应减去装饰花纹的凸起高度或凹下深度。

条文说明：

由于受生产工艺的限制和满足装饰效果要求，绝大多数面板的内外表面都不是单纯的平面。确定计算厚度时，应考虑表面粗糙度或装饰造型的影响。为保证面板的抗弯承载能力满足使用要求，本条对面板计算厚度 t_e 作出了规定。

6.5.2 面板抗弯设计应符合下列规定：

1 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，面板的最大弯曲应力标准值宜采用有限元方法分析计算。两对边对称连接的四点支承矩形面板，可按下列公式计

算：

$$\sigma_k = \frac{6mq_k b_0^2}{t_e^2} \quad (6.5.2)$$

式中： σ_k ——风荷载或垂直于面板板面方向地震作用在板中产生的最大弯曲应力标准值（N/mm²）；

q_k ——风荷载或垂直于面板板面方向地震作用标准值（N/mm²）；

a_0 、 b_0 ——支承点（挂件中心线）之间的距离（mm）， $a_0 \leq b_0$ ；

t_e ——面板的计算厚度（mm），按本规程第 6.5.1 条规定确定；

m ——四点支承面板在均布荷载作用下的最大弯矩系数，可按照支承点间较短距离与较大距离之比 a_0/b_0 和材料的泊松比 ν ，按表 6.5.2 查取。

表 6.5.2 四点支承矩形面板的弯矩系数 m

a_0/b_0	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60
m	0.125	0.125	0.126	0.127	0.129	0.130	0.132	0.134
a_0/b_0	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
m	0.135	0.137	0.139	0.141	0.143	0.146	0.148	0.151

2 面板中由各种荷载和作用产生的最大弯曲应力标准值，应按本规程第 6.31 条规定进行组合。组合后面板承受的弯曲应力设计值不应大于面板材料的抗弯强度设计值。

条文说明：

进行面板抗弯强度设计时，应优先采用有限元方法分析计算，保证材料合理利用，避免浪费。采用短挂件两对边对称连接的矩形瓷板，其受力状态类似四点支承板。

实际使用中，系统面板的挠度远小于板厚，也可直接采用四角支承板的弹性力学计算公式和系数表计算幕墙面板所承受的弯曲应力。面板所承受的弯曲应力标准值，应按照本规程 6.3.1 的规定进行组合，所得的最大弯曲应力设计值不应大于面板材料的抗弯强度设计值。

6.5.3 面板抗剪设计应符合下列规定：

1 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，面板挂件槽口处产生的剪应力标准值可按下式计算：

$$\tau_k = \frac{q_k ab \beta}{n t_v s} \quad (6.5.3)$$

式中： τ_k ——挂件在面板槽口处产生的剪应力标准值（N/mm²）；

q_k ——风荷载或垂直于面板板面方向地震作用标准值（N/mm²）；

a 、 b ——矩形面板的两个边长（mm）；

t_v ——面板槽口受剪面厚度（mm）；根据挂钩与挂槽的实际情况确定；

s ——槽口剪切面总长度（mm）；矩形槽或通槽，取挂钩的宽度加上 2 倍槽深；端部连接挂件，取挂钩的宽度与 1 倍槽深之和；

n ——挂件总数量；

β ——应力调整系数，可根据挂件总数量，按本规程表 6.5.3 采用。

表 6.5.3 应力调整系数 β

每块板块挂件个数	2	4
β	1.00	1.25

2 由各种荷载和作用产生的剪应力标准值，应按本规程第 6.3.1 条的规定进行组合。组合后面板槽口承受的剪应力设计值不应大于面板材料的抗剪强度设计值。

6.6 连接件与紧固件计算

6.6.1 挂件的抗剪设计应符合下列规定：

1 在风荷载或垂直于板面方向地震作用下，挂件承受的剪应力标准值可按下式计算：

$$\tau_{pk} = \frac{q_k ab \beta}{n A_p} \quad (6.6.1)$$

式中： τ_{pk} ——挂件剪应力标准值（N/mm²）；

q_k ——风荷载或垂直于面板板面方向地震作用标准值（N/mm²）；

a 、 b ——矩形面板的两个边长（mm）；

A_p ——单个挂件挂钩受剪截面面积(mm²)；

n ——挂件总数量；

β ——应力调整系数，可按本规程表 6.5.3 采用。

2 挂件中由各种荷载和作用产生的剪应力标准值应按本规程第 6.4.1 条的规定进行组合。组合后的剪应力设计值不应大于挂件材料的抗剪强度设计值。

条文说明：

挂件直接承受并传递面板所承受的风荷载或地震作用，挂件必须具备相应的抗剪承载能力。

6.6.2 挂件的抗剪设计应符合下列规定：

1 在面板自重作用下，挂件承受的剪应力标准值可按下式计算：

$$\tau_{pk} = \frac{\beta G_k}{n_1 A_p} \quad (6.6.2-1)$$

式中： τ_{pk} ——挂件剪应力标准值（N/mm²）；

G_k ——面板的自重标准值（N）；

A_p ——单个挂件挂钩的受剪截面面积（mm²）；

n_1 ——实际承受面板自重荷载的挂件数量；

β ——应力调整系数，可根据挂件的数量 n_1 ，按本规程表 6.5.3 采用。

2 挂件所承受的剪应力设计值可按下式计算，且不得大于挂件材料的抗剪强度设计值。

$$\tau_p = \gamma_G \tau_{pk} \quad (6.6.2-2)$$

式中： τ_p ——挂件剪应力设计值（N/mm²）；

γ_G ——永久荷载分项系数，可取 1.35。

条文说明：

挂件除了直接承受并传递面板所承受的风荷载或地震作用之外，还要长期承受面板的自重作用，应对挂件承受面板自重的抗剪能力进行验算。工程中，面板的自重荷载仅由部分挂件承受，所以，在公式(6.6.2-1)中，规定 n_1 为承受面板自重挂件的实际情况。

瓷板的截面形状比较简单，其自重标准值，可取面板重力密度 γ_{Gk} 与面板体积的乘积。挂件数量应取实际承受面板自重荷载的挂件数量。考虑受力不均匀性

等不利因数，增加了应力调整系数，并按照永久荷载效应起控制作用进行组合，荷载分项系数取 1.35。

6.6.3 支承角码的抗弯设计应符合下列规定：

1 在面板自重作用下，支承角码的最大弯曲应力标准值可按下式计算：

$$\sigma_{sk} = \frac{6G_k e}{n_1 b_1 t_2^2} \quad (6.6.3-1)$$

式中： σ_{sk} ——支承角码的最大弯曲应力设计值（N/mm²）；

G_k ——面板的自重标准值（N）；

e ——面板偏心距（mm），即面板剖面中心至锚固结构外皮的距离；

b_1 ——支承角码的长度（mm）；

t_2 ——支承角码外挑翼缘的厚度（mm）；

n_1 ——实际承受面板自重荷载的支承角码数量。

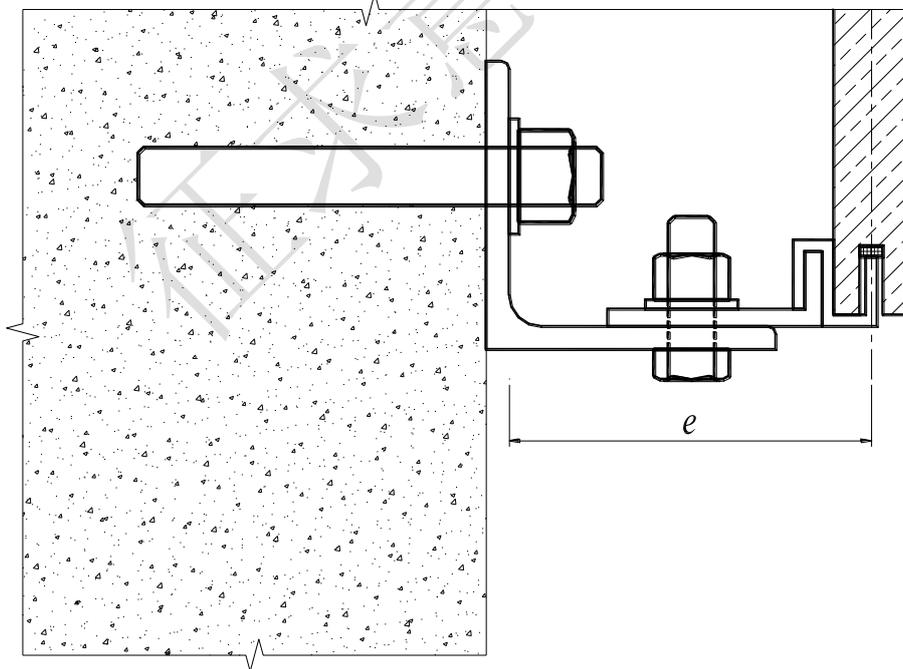


图 6.6.3 连接节点示意图

2 支承角码所承受的弯曲应力设计值可按下式计算，且不得大于支承角码材料的抗弯强度设计值。

$$\sigma_{sp} = \gamma_G \sigma_{sk} \quad (6.6.3-2)$$

式中： σ_{sp} ——支承角码弯曲应力设计值（N/mm²）；

γ_G ——永久荷载分项系数，可取 1.35。

6.6.4 支承角码的抗剪设计应符合下列规定：

1 在面板自重作用下，支承角码的剪应力标准值可按下式计算：

$$\tau_{sk} = \frac{G_k}{n_1 b_1 t_2} \quad (6.6.4-1)$$

式中： τ_{sk} ——支承角码剪应力标准值（N/mm²）；

G_k ——面板的自重标准值（N）；

b_1 ——支承角码的长度（mm）；

t_2 ——支承角码外挑翼缘的厚度（mm）；

n_1 ——实际承受面板自重荷载的支承角码数量。

2 支承角码所承受的剪应力设计值可按下式计算，且不得大于支承角码材料的抗剪强度设计值。

$$\tau_{sp} = \gamma_G \tau_{sk} \quad (6.6.4-2)$$

式中： τ_{sp} ——支承角码剪应力设计值（N/mm²）；

γ_G ——永久荷载分项系数，可取 1.35。

6.6.5 后锚固连接用锚栓的结构计算应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的有关规定。

6.6.6 紧固件的结构计算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

7 加工制作

7.1 一般规定

7.1.1 系统构件在加工制作前应与结构施工图进行核对，对已建隧道主体结构进行复测，复测内容包括表面情况、衬砌强度等，并按实测结果对系统设计进行必要调整。

条文说明：

一般情况下，隧道主体结构施工都会有误差，而系统施工图设计又是依据结构施工图进行，图纸和实际工程之间始终存在差异。误差超出系统施工图中的允许值时，作为外围护结构的系统，就必须对这些误差进行消化、吸收，调整系统施工图中的分格尺寸或构造。这些调整会造成构件成品或半成品的超差，甚至报废。因此，在系统构件加工制作前对已建隧道主体结构进行复测，非常必要。

7.1.2 系统构件的加工制作宜采用专用设备在厂房内完成。设备的加工精度应满足增强面板设计要求，刀具的切削性能应与面板材料相适应并保持锋利。加工时，宜以面板正面（装饰面）作为加工基准面。

条文说明：

构件加工用设备、工装、夹具、模具与构件的加工质量和尺寸精度直接有关，应经常检查、维修并做好定期保养，使加工设备始终保持良好的工作状态。为保证面板的平整度，进行面板加工时，应以面板的装饰面作为加工、测量基准面。

7.1.3 检测量具应定期进行计量检定。

条文说明：

质量检验用量具的测量精度应满足构件设计精度的要求并定期进行检测，确保测量结果的准确性。

7.1.4 系统构件的原材料应符合国家现行规范和设计要求。

7.1.5 构件加工完毕应编号备查。

条文说明：

为保证产品的可追溯性，对加工完成的构件编号是工厂加工后必不可少的一道工序。

7.2 金属构件加工

7.2.1 系统构件连接件、支承件的加工精度应符合下列规定：

- 1 连接件、支承件外观应平整，不得有裂纹、毛刺、凹凸、翘曲、变形等缺陷；
- 2 连接件、支承件加工尺寸（图 7.2.1）允许偏差应符合表 7.2.1 的规定。

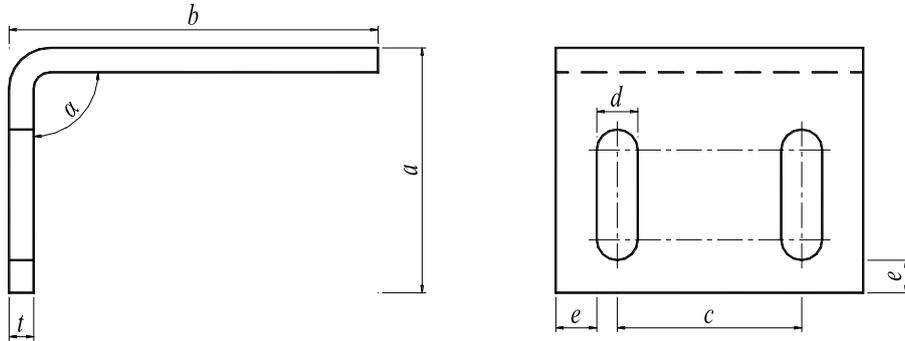


图 7.2.1 连接件、支承件尺寸示意

a -连接件高度； b -连接件长度； c -孔间距； d -孔宽度；
 e -孔边距； t -壁厚； α -弯曲角度

表 7.2.1 连接件、支承件尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
连接件高度 a 、 连接件长度 b	+5.0mm -2.0mm	孔边距 e	1.0mm 0
孔间距 c	$\pm 1.0\text{mm}$	壁厚 t	+0.5mm -0.2mm
孔宽度 d	1.0mm 0	弯曲角度 α	$\pm 2^\circ$

条文说明：

连接件、支承件的要求与行业标准《人造板材幕墙工程技术规范》JGJ 336-2016 的有关规定一致。

7.2.2 铝合金型材构件中槽、豁、榫的加工应符合下列规定：

- 1 铝合金型材构件槽口尺寸（图 7.2.2-1）和豁口尺寸（图 7.2.2-2）允许偏差应符合表 7.2.2-1 的规定。

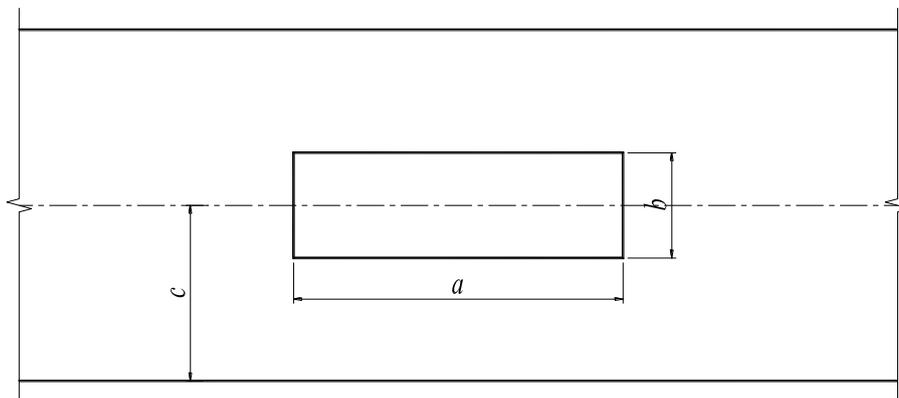


图 7.2.2-1 槽口尺寸示意

a -槽口长度； b -槽口宽度； c -槽口中心位置尺寸

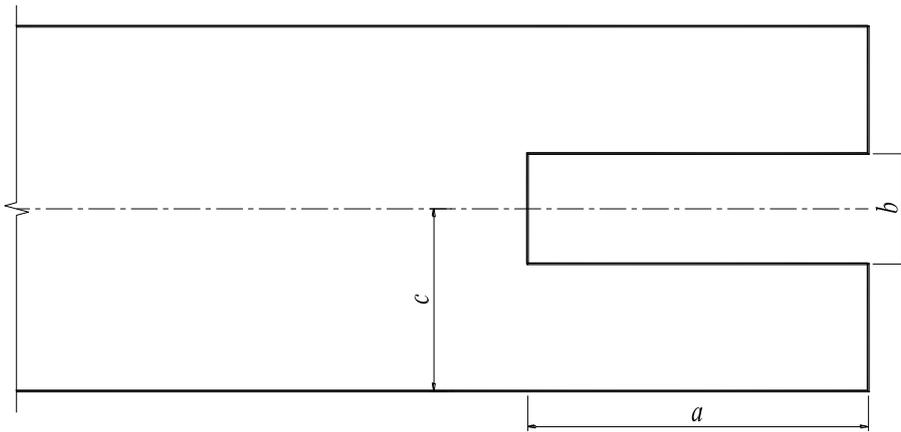


图 7.2.2-2 豁口尺寸示意

a -豁口长度； b -豁口宽度； c -豁口中心位置尺寸

表 7.2.2-1 槽口和豁口尺寸允许偏差 (mm)

项目	a	b	c
允许偏差	0.5 0	0.5 0	± 0.5

2 铝合金型材构件榫头尺寸 (图 7.2.2-3) 允许偏差应符合表 7.2.2-2 的规定。

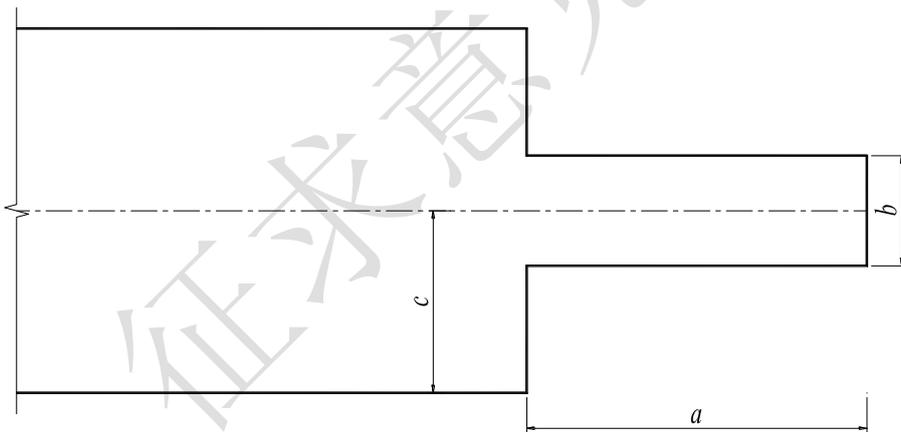


图 7.2.2-3 榫头尺寸示意

a -榫头长度； b -榫头宽度； c -榫头中心位置尺寸

表 7.2.2-2 榫头尺寸允许偏差 (mm)

项目	a	b	c
允许偏差	0 -0.5	0 -0.5	± 0.5

条文说明：

为方便安装施工，在铝合金型材构件加工时要控制其槽口、豁口、榫头的偏差。比如：槽口和豁口长度和宽度只允许正偏差不允许负偏差，以防出现装配受阻；中心离边部距离可以是负偏差或正偏差；榫头截面的长度和宽度只允许负偏差不允许正偏差。

槽口、豁口和榫头的加工宜采用全自动化设备，条件不具备时，宜设计专用工装和模具。

7.2.3 铝合金型材构件弯曲加工应符合下列规定：

- 1 铝合金型材构件宜采用拉弯设备进行弯加工；
- 2 弯加工后的型材构件表面应光滑，不得有皱折、凹凸、裂纹、表面处理层脱落、裂口、严重擦伤等缺陷。

条文说明：

常用的铝合金型材构件弯加工设备有顶弯和拉弯两大类，采用拉弯设备对铝合金型材构件弯加工，可以防止构件表面产生皱褶、凹凸和裂纹。拉弯构件的截面形状和截面宽度、高度与截面壁厚之间比值，与拉弯质量密切相关，进行截面设计时，要多加注意。

7.2.4 钢构件的加工应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

7.2.5 钢构件焊接、螺栓连接应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 及《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。

7.3 面板加工

7.3.1 瓷板的切割加工应符合下列规定：

- 1 加工过程中所使用的润滑剂、冷却剂和清洁剂，应采用对面板材料无污染的水性溶剂进行冷却和润滑，不得采用有机溶剂型清洁剂。成品板应放置通风处自然干燥。
- 2 成品面板的形状、尺寸应符合设计要求，加工允许偏差应符合表 7.3.1 的规定。

表 7.3.1 瓷板加工允许偏差(mm)

项目	允许偏差
长度	±1.0
对角线差	≤2.0

条文说明：

一般情况下，瓷板的立面分格尺寸应按照产品规格与板缝宽度确定，特殊情况下才对面板进行切割加工。加工过程中，应采用水溶性润滑剂、冷却液和清洁剂，防止污染面板。

7.3.2 瓷板的槽口加工除应符合本规程第 7.3.1 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 槽口加工宜采用专用设备，不宜采用手持机械；
- 2 槽口的宽度、长度、位置应符合设计要求；
- 3 槽口侧面不得有损坏或崩裂现象，槽口内壁应光滑、洁净，不得有目视可见的阶梯；
- 4 槽口连接部位应无爆边、裂纹等缺陷；
- 5 槽口加工允许偏差应符合表 7.3.2 的规定。

表 7.3.2 瓷板槽口加工允许偏差(mm)

项目	宽度	长度	深度	槽端到板端边距离	槽中心线到正面的距离
允许偏差	0.5	短槽：10.0	1.0	短槽：10.0	0.5
	0	0	0	0	0

注：允许将瓷板短挂件连接用槽口加工成通槽。

7.3.3 纤维复合材料应按下列步骤和要求粘贴：

- 1 按设计尺寸裁剪纤维复合材料，且严禁折叠；若纤维复合材料原件已有折痕，应裁去有折痕一段纤维复合材料；
- 2 将配置好的浸渍、粘接专用的结构胶粘剂均匀涂抹于瓷板背面；
- 3 将裁剪好的纤维复合材料敷在涂好结构胶粘剂的瓷板表面。织物应充分展平，不得有褶皱；
- 4 沿纤维方向应使用特制滚筒在已贴好纤维复合材的面上多次滚压，使胶液充分浸渍纤维复合材，并使纤维复合材的铺层均匀压实，无气泡发生；
- 5 粘贴结束后，应按设计要求涂刷封闭材料。

条文说明：

纤维复合材的粘贴作业应着重注意以下两点：

- 1 纤维复合材极易折断，故在任何情况下均不允许折叠。同时，粘贴时还须注意展平，不得有褶皱，以免影响其受力性能；
- 2 浸渍、粘接专用的结构胶粘剂能否顺畅地渗透到纤维丝束内，是保证粘贴施工质量的关键。因此，滚压一定要均匀而充分，以避免发生虚粘假贴，导致纤维复合材失效。

7.3.4 纤维复合材料粘贴除应符合本规程第 7.3.3 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 纤维复合材与瓷板之间的总有效粘接面积不应小于总粘接面积的 95%；
- 2 纤维复合材粘贴位置，与设计要求的位置相比，其中心线偏差不应大于 10mm；长度负偏差不应大于 5mm；
- 3 纤维复合材与瓷板的正拉粘结强度应不小于 1.5MPa 且为瓷板内聚破坏。

7.4 构件、组件检验

7.4.1 系统构件生产过程中应建立自检、互检、专职检验制度。每种构件、配件、组件必须首件检验合格后方可批量投产。

7.4.2 系统构件或组件应按构件或组件的 5% 进行随机抽样检查，且每种构件或组件不得小于 5 件。当有一个构件或组件不符合要求时，应加倍进行复验，检验合格后方可出厂。复验时，发现有一件不合格，则对该批构件或组件进行 100% 检验，合格件允许出厂。

条文说明：

系统构件、组件的加工质量是保证工程施工质量符合现行国家标准的规定，满足设计功能要求的基础。为了保证构件或组件的加工质量，不仅要对成品进行检验，还应该加强过程检验。实行“首件三检”制度，可以有效地防止产品批量超差、批量报废，生产过程中的抽检、巡检，可以及时发现偶然因素造成的加工质量问题。这些制度和办法，已经成为国内加工行业中普遍实行的制度。本条规定的检验数量正是建立在这些质量控制的基础上。

7.4.3 产品出厂时，应附有构件或组件合格证书。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 系统安装前，新建隧道主体结构应验收合格，既有隧道应对隧道病害进行处治并验收合格。

条文说明：

安装系统的隧道主体结构，应符合现行行业标准《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1 和《公路隧道加固技术规范》JTG/T 5440-2018 的规定。

8.1.2 进场的系统构件及附件的材料品种、规格、色泽和性能，应符合设计要求。系统构件安装前应进行检验。不合格的构件不得安装使用。

条文说明：

系统施工图中应明确规定系统构件及附件的材料品种、规格、色泽和性能。构件的尺寸、形状不符合设计要求时，会严重影响系统的安装质量，不得使用。

8.1.3 系统的安装施工应单独编制施工组织设计，并应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 总体施工部署；
- 3 施工总进度计划；
- 4 总体施工准备与主要资源配备计划；
- 5 安装施工方法；
- 6 成品半成品保护方法；
- 7 检查验收；
- 8 与隧道主体结构施工协调配合方案；
- 9 安全措施。

条文说明：

施工组织设计是项目管理和工程施工的指导性文件，必须符合现场实际并满足设计要求。

系统的施工安装过程，是一项系统工程。对内，需要统一市场、采购、加工、人事、财务、设计、工程项目管理、质量监督和运输等多个部门的行为；对外，需要与业主、总包、监理以及其他工种协调配合。由于工程的多变，不同的工程应有不同的设计，也应采用不同的施工方法。为了保证工程施工进度、保证施工

质量，施工组织设计，应经有关部门批准。

本条列出了编制隧道瓷板无龙骨干挂内装工程施工组织设计时应该注意的有关内容。编制具体项目的施工组织设计时，切忌一般化、原则化、通用化，编制人员一定要对工程实际情况进行分析，了解企业内部参与工程施工运作的各个部门的情况，对参与该项目的有关外部单位进行调查，按照招标文件的要求，编制出针对性强、可操作性强的施工组织设计方案。

8.1.5 系统安装过程中，应及时对半成品、成品进行保护；在构件存放、搬动、吊装时应轻拿轻放，不得碰撞、损坏和污染构件；对型材、面板的表面应采取保护措施。

条文说明：

由于多工种交叉作业和施工环境本身就比较差，容易污染或损坏系统成品、半成品，应严格执行施工组织设计中规定的有关的操作要求和成品、半成品保护措施。

8.1.5 进行焊接作业时，应采取保护措施防止烧伤型材及面板表面。施焊后，应对钢材表面及时进行处理。

条文说明：

焊接施工时，掉落的焊接熔渣（焊渣）温度非常高，很容易烧伤铝合金型材的表面处理层和碳钢型材表面的涂层以及面板保护膜，应采取措施进行防护。

烧焊后，应对钢型材表面进行检查。发现碳钢型材表面有灼伤时，应清理干净并进行防腐蚀处理；发现不锈钢型材表面有灼伤时，及时清理，防止熔渣中的铁生锈，产生锈点、锈斑，影响表面质量。

8.2 施工准备

8.2.1 安装施工之前，系统安装施工企业应会同土建承包商检查现场确认具备系统安装施工的条件。

8.2.2 由于隧道主体结构施工偏差过大而妨碍系统施工安装时，应会同业主、土建承建商洽商相应措施，并在系统安装施工前实施。

8.2.3 系统大面积施工前，应先进行试验段安装，确定具体施工方案。试验段长度宜为 18~24m。

8.2.4 构件储存时应依照系统安装顺序排列放置，储存架应有足够的承载力和刚度。在室外储存时应采取防雨、防潮和防污染等防护措施。

条文说明：

构件储存位置应符合施工平面图的规定并方便幕墙安装，并应采取措施，防

止幕墙构件、组件损坏。

8.2.5 瓷板的堆放、吊运应符合下列规定：

- 1 应按板材不同规格、品种分类堆放；
- 2 当板材有减振外包装时，平放堆高不宜超过 2m，竖放堆高不宜超过 2 层，且倾斜角不宜超过 15°；当板材无包装时，应将板材的光泽面相向，平放堆高不宜超过 10 块，竖放宜单层堆放且倾斜角不宜超过 15°；
- 3 吊运时宜采用专用运输架。

8.3 安装施工

8.3.1 系统的施工程序应符合下列规定：

基层处理→排板、分格、弹线→锚栓安装→挂件安装→面板安装→施工质量检验。

8.3.2 基层质量应符合现行行业标准《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1 的规定。

8.3.3 排板、分格、弹线应符合下列规定：

- 1 应按设计要求和施工样板进行排板、分格，排板宜使用主规格板，对必须使用非主规格板的部位，非主规格板的长度不宜小于主规格板长度的 1/3；
- 2 应弹出控制线，做出锚栓孔标记。

8.3.4 锚栓安装应符合下列规定：

- 1 锚栓施工前，应检测基材原钢筋的位置，钻孔不得损伤主体结构构件钢筋。
- 2 锚固区的基材厚度、锚固深度等构造措施及锚栓安装施工，应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定，且应采取防止锚栓螺母松动的措施。
- 3 锚栓孔的位置应符合设计要求。锚栓位置允许偏差应为 2mm；
- 4 锚栓与基体连接应牢固可靠，其承载力应符合设计要求。

8.3.5 挂件安装应符合下列规定：

- 1 挂件连接应牢固可靠，不得松动；
- 2 挂件位置调节适当，并能保证板材连接位置准确；
- 3 铝合金挂件与钢型材间的隔离垫片应横向定位牢固，不得歪斜、脱落。

8.3.6 板材的编号、钻孔应符合下列规定：

- 1 板材的编号应满足安装时流水作业的要求；
- 2 板材钻孔前应逐块检查板的厚度、裂缝等质量指标；
- 3 板材钻孔数量和位置应符合设计要求。

8.3.7 面板安装应符合下列规定：

- 1 安装面板前，应按本规程第 4.5 节规定的面板材料进行面板的弯曲强度试

-
- 验。用于寒冷地区的面板，还应进行抗冻性试验；
- 2 系统的安装顺序宜由下往上进行，避免交叉作业；
 - 3 面板的安装质量应符合本规程表 9.3.4 的规定；
 - 4 瓷板的槽（孔）内及挂件表面的灰粉应清理干净。

8.4 施工安全

8.4.1 系统的安装施工除应符合现行行业标准《公路工程施工安全技术规范》JTG F90、《公路隧道施工技术规范》JTG F60、《公路养护安全作业规程》JTG H30 等的有关规定外，尚应符合施工组织设计中确定的各项要求。

条文说明：

系统的安装施工应坚决执行国家和工程所在地地方政府制定的有关法律、法规，并根据工程实际情况，按照现行国家标准和行业标准的规定，制定切实可行的安全制度和安全操作守则，做到“安全第一、预防为主”，确保施工安全。

8.4.2 施工机具在进场之前，应全面检查、检修；使用中，应定期安全检查。开工前，应试运转。手持电动工具应进行绝缘电压试验。

条文说明：

机械事故是施工中的多发性事故之一。系统安装施工使用的施工机具属于使用环境多变、间歇使用的机具。在进入新的工程之前，要对施工机具进行全面检查、检修；使用过程中，应定期检查、保养；开工前应进行空载运转。防止机械事故。

手持电动工具直接威胁到人身安全，其绝缘等级应符合产品标准的规定并进行绝缘电压试验。

8.4.3 板材的切割、钻孔的操作人员应佩戴防护眼镜。

8.4.4 施工人员作业时应戴安全帽，系安全带，并应配备工具袋。

9 验收

9.1 一般规定

9.1.1 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程在验收时其表面应清洁、干净。

条文说明：

工程验收前，应将面板表面的保护物清除，并清洗、擦拭干净。

9.1.2 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程验收时，应根据工程实际情况部分或全部检查下列文件和记录：

- 1 设计图纸、设计变更文件及其他设计文件；
- 2 系统所用材料、紧固件及其他附件的产品合格证书、性能检测报告、进场验收记录和复验报告；
- 3 面板连接承载力验证的检测报告；
- 4 增强瓷板抗冲击性能检测报告；
- 5 锚固件的现场拉拔检测报告；
- 6 隐蔽工程验收记录；
- 7 系统安装施工质量检查记录；
- 8 其他质量保证资料。

条文说明：

工程验收分为资料验收和工程现场验收。隧道瓷板无龙骨干挂内装工程验收资料应符合现行相关国家标准、行业标准和工程所在地的地方标准的规定。

本条列出了隧道瓷板无龙骨干挂内装工程验收时，应提交的基本验收资料范围。对于具体的工程而言，除了设计文件和隐蔽工程验收记录必须提交之外，其他资料，应根据工程实际涉及的部分，提交相应部分的验收资料。

9.1.3 材料质量验收应符合下列规定：

- 1 系统所用材料均应有出厂合格证；
- 2 瓷板的规格、尺寸、理化性能指标、表观质量应符合设计要求；
- 3 粘接材料的品种、颜色及质量性能指标应符合设计要求；
- 4 挂件的材质、尺寸应符合设计要求
- 5 瓷板的力学性能指标，应按产品检测方法标准的要求进行抽样检测。

9.1.4 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程应对下列材料性能进行复验：

- 1 瓷板的抗弯强度和吸水率；
- 2 用于寒冷地区和严寒地区时，瓷板的抗冻性；

- 3 瓷板挂件缝隙填充用胶粘剂的污染性；
- 4 系统与隧道主体结构之间的连接件的力学性能。

9.1.5 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程工程验收前，应在安装施工过程中完成下列隐蔽项目的现场验收：

- 1 锚固件的安装；
- 2 瓷板的连接构造。

条文说明：

系统完工之后，有不少部位或节点被装饰材料隐蔽，在工程验收时无法观察、检测，而这些部位或节点的施工质量又至关重要，甚至与系统的安全性能直接有关，必须在施工过程中进行检查并做好记录。工程验收时，仅对隐蔽工程验收记录进行审核、检查。

系统施工单位应严格按照设计要求进行隐蔽工程施工并及时进行自检，发现问题应马上返工，自检合格，应会同监理和当地质监站进行隐蔽工程验收并做好记录，参加检验的人员，应在隐蔽验收记录上签字认可。

9.1.6 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程验收应分别进行观感检验和抽样检验。设计、材料、工艺和施工条件相同的隧道瓷板无龙骨干挂内装工程，按墙面面积每1000m²划分为一个检验批，不足1000m²也为一个检验批。每个检验批中应每100m²至少检查一处，每处至少检查10m²。

条文说明：

装饰工程的差异性很大，如何科学合理的划分检验批很重要，既要保证检查验收的抽样具有代表性，能够发现质量缺陷，也要具有可操作性，工作量要适当，不会影响工程正常施工。本条中给出了检验批划分的原则，现场实施应根据工程情况协商确定。

9.2 主控项目

9.2.1 瓷板的品种、规格、颜色和性能应符合设计要求。

检验方法：观察；检查产品合格证书、进场验收记录和性能检测报告。

9.2.2 瓷板安装的锚固件、连接件数量、规格、位置、连接方法和防腐处理应符合设计要求，干挂瓷板应牢固可靠。

检验方法：手扳检查；检查进场验收记录、隐蔽工程验收记录和施工记录。

9.2.3 锚固件的现场拉拔强度应符合设计要求。

检验方法：核查现场拉拔检测报告。

9.2.4 系统的造型、图案和立面分格应符合设计要求。

检验方法：观察。

9.2.5 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程的中伸缩缝、沉降缝、抗震缝等部位的处理应保证缝的使用功能和侧墙饰面的完整性，并符合设计要求。

检验方法：观察；检查产品合格证书和施工记录。

条文说明：

条文中规定的各项质量要求，直接关系到系统的使用安全和装饰效果，应严格控制。

9.3 一般项目

9.3.1 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程的观感检验应符合下列规定：

- 1 瓷板表面应平整、洁净、无污染；
- 2 瓷板表面颜色应均匀，无明显色差，色泽应与样板相符；
- 3 瓷板表面不应有凹坑、缺角、裂纹、裂缝、斑痕等不允许的缺陷；
- 4 接缝应横平竖直、深浅一致、宽窄均匀、光滑顺直。

检验方法：观察；尺量检查。

条文说明：

本条对隧道瓷板无龙骨干挂内装工程的观感提出了具体要求，既要在施工过程中进行检查控制，也要在整体验收时对可清晰观察到的部位，进行认真检查。

9.3.2 瓷板的表面质量和检验方法应符合表 9.3.2 的规定。

表 9.3.2 瓷板的表面质量和检验方法

项目	质量要求	检验方法
缺棱：长度×宽度不大于 10mm×1mm (长度小于 5mm 不计) 周边允许 (处)	1	金属直尺
缺角：边长不大于 5mm×2mm (边长小于 2mm×2mm 不计) (处)	1	金属直尺
裂纹 (包括隐裂、釉面龟裂)	不允许	目测观察
窝坑 (毛面除外)	不明显	目测观察
明显划伤、擦伤	不允许	目测观察
轻微划伤	不明显	目测观察

注：目测观察，是指距离板面 3 处肉眼观察。

9.3.3 增强瓷板表面和板缝的处理应符合设计要求。

检验方法：观察；检查设计文件和施工记录。

9.3.4 系统的安装允许偏差和检验方法应符合表 9.3.4 的规定。

表 9.3.4 系统的安装允许偏差和检验方法

项目	允许偏差 (mm)	检验方法
面板水平度	3	水平仪
2m 范围内面板垂直度	3	2m 垂直检测尺
单块面板上沿水平度	2	1m 水平尺和金属直尺
相邻板材板角错位	1	金属直尺
系统表面平整度	2	2m 垂直检测尺
阳角方正	2	直角检测尺
接缝直线度	3	拉 5m 线，不足 5m 拉通线，金属直尺
接缝高低差	1	金属直尺和塞尺
接缝宽度	1	金属直尺

征求意见稿

10 养护

10.1 一般规定

10.1.1 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程竣工验收时，承包商应向业主提供《系统使用维护说明书》。《系统使用维护说明书》应包括下列内容：

- 1 系统的设计依据、主要特点和性能参数，以及系统结构的设计使用年限；
- 2 使用过程中的注意事项；
- 3 环境条件变化可能对系统使用产生的影响；
- 4 日常与定期的维护、保养及清洁要求；
- 5 系统的主要结构特点及易损零部件更换方法；
- 6 备品、备料清单及主要易损件的名称、规格；
- 7 承包商的保修责任、保修年限。

条文说明：

为了使隧道瓷板无龙骨干挂内装工程能够安全使用，本规程规定承包商应提供给业主“系统使用维护说明书”，作为工程竣工交付内容的组成部分，指导工程的使用和维护。

10.1.2 公路隧道养护等级分级标准应按现行行业标准《公路隧道养护技术规程》JTG H12 执行；城市隧道养护等级分级标准宜按表 10.1.3 执行。

表 10.1.3 城市隧道养护等级分级表

城市道路级别	隧道长度 (m)			
	$L < 3000$	$3000 \geq L > 1000$	$1000 \geq L > 500$	$L \leq 500$
快速路	一级	一级	一级	二级
主干路	一级	二级	二级	二级
次干路、支路	一级	二级	二级	三级

注：水下隧道及位于城市集会中心、繁华商业区、风景游览区、重要生产科研区及生活区的隧道，除养护等级已为一级外，养护等级应提高一个级别。

10.1.3 系统的养护作业应符合现行行业标准《公路养护安全作业规程》JTG H30 的规定。

10.2 检查与维修

10.2.1 日常维护和保养应符合下列规定：

- 1 保持系统表面整洁，避免锐器及腐蚀性气体和液体与系统表面接触；
- 2 发现系统构件或附件的螺栓松动或锈蚀时，应及时拧紧或更换；

3 发现系统面板挂件、支承角码等连接部件松动或脱落时，应及时修补或更换；

4 发现系统构件锈蚀时，应及时除锈补漆或采取其他防锈措施；

5 对破损的板材应及时进行更换。

10.2.2 定期检查和维修应符合下列规定：

1 在隧道瓷板无龙骨干挂内装工程竣工验收后一年时，应对其进行一次全面检查，此后每五年应检查一次。定期检查和维修项目应包括：

1) 系统整体有无变形、错位、松动，当发现上述情况，则应对该部位对应的隐蔽结构进行进一步检查；

2) 系统的主要承力件、连接件和连接螺栓等有无锈蚀、损坏，连接是否可靠；

3) 系统面板有无松动和损坏。

2 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程应按使用维护说明书进行维护。

条文说明：

根据实际工程经验，在工程竣工验收后一年内，工程的加工和施工工艺及材料、附件的一些缺陷均有不同程度的暴露。因此在工程竣工验收后一年内，应对工程进行一次全面的检查，此后每五年检查一次。点挂外墙板装饰工程应按使用维护说明书进行维护。

10.2.3 灾后检查和维修应符合下列规定：

1 当系统遭遇强风袭击或车辆撞击后，应及时对系统进行全面检查，修复或更换损坏的构件；发现损坏情况较严重时，应及时通知有关单位，制定维修方案，进行维修；

2 当系统遭遇地震、火灾等灾害后，应由专业技术人员对系统进行全面检查，并根据损坏程度制定处理方案和维修方案，进行维修。

10.3 清洁

10.3.1 隧道瓷板无龙骨干挂内装工程的清洁应综合考虑隧道养护等级、交通组成、系统脏污程度、清洁方式及效率和环境条件等因素确定清洁方案和频率。隧道清洁维护频率宜不小于表 10.3.1 的规定的频率。

表 10.3.1 隧道清洁频率

隧道类别	道路等级	养护等级		
		一级	二级	三级
城市隧道	/	1次/月	1次/2月	1次/季度
公路隧道	高速公路、一级公路	1次/月	1次/2月	1次/季度

	二级及二级以下公路	1次/季度	1次/半年	1次/年
--	-----------	-------	-------	------

10.3.2 系统的清洁应符合下列规定：

- 1 应保持干净、整洁、无污垢、污染、油污和痕迹；
- 2 系统的清洁宜以机械作业为主，以人工作业为辅；
- 3 清洁方法和清洁工具应与系统面板材料相适应，不得污染、腐蚀和损伤系统面板、构件或胶粘剂；
- 4 采用湿法清洁时，应防止路面积水和结冰，并应注意保护隧道内机电设施的安全，防止水渗入设施内；清洗用的清洁剂，可根据实际效果选择确定，宜选用PH值为6.0~8.0的中性清洁剂；清洗应自上而下进行，喷水嘴与面板宜成60°斜角，并对水压进行控制；清洁剂应冲洗干净；
- 5 采用干法清洁时，应避免损伤系统以及隧道内机电设施。清洁时采取必要的降尘措施。对不能去除的污垢，可用清洁剂进行局部特别处理。

征求意见稿

附录 A 常见节点构造

A.0.1 采用本附录给出的节点构造时，仍需验算瓷板承载力。

A.0.2 常见节点构造可参考图 A.0.2-1~图 A.0.2-3 进行设计。

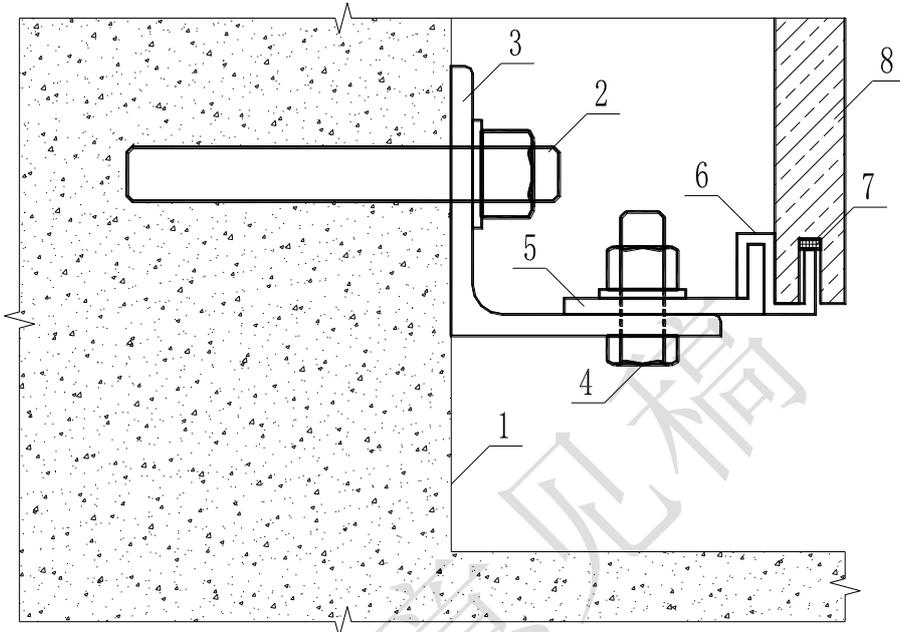


图 A.0.2-1 系统底部节点构造示意图

1-衬砌；2-锚栓；3-支撑件；4-连接螺栓；
5-L 型挂件；6-S 型挂件；7-弹性垫片；8-加强瓷板

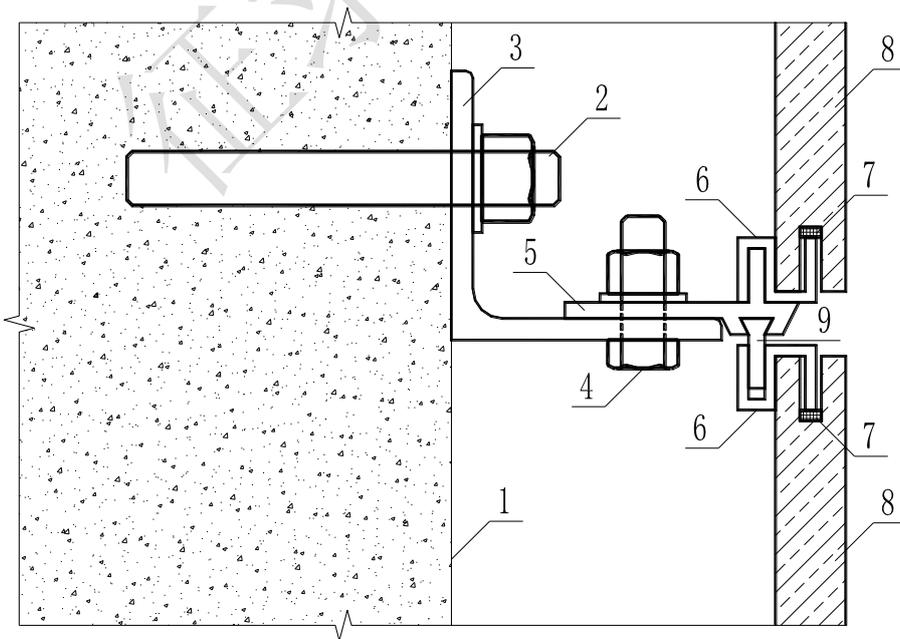


图 A.0.2-2 系统中部节点构造示意图

1-衬砌；2-锚栓；3-支撑件；4-连接螺栓；5-十字组合挂件 A；
6-S 型挂件；7-弹性垫片；8-加强瓷板；9-十字组合挂件 B

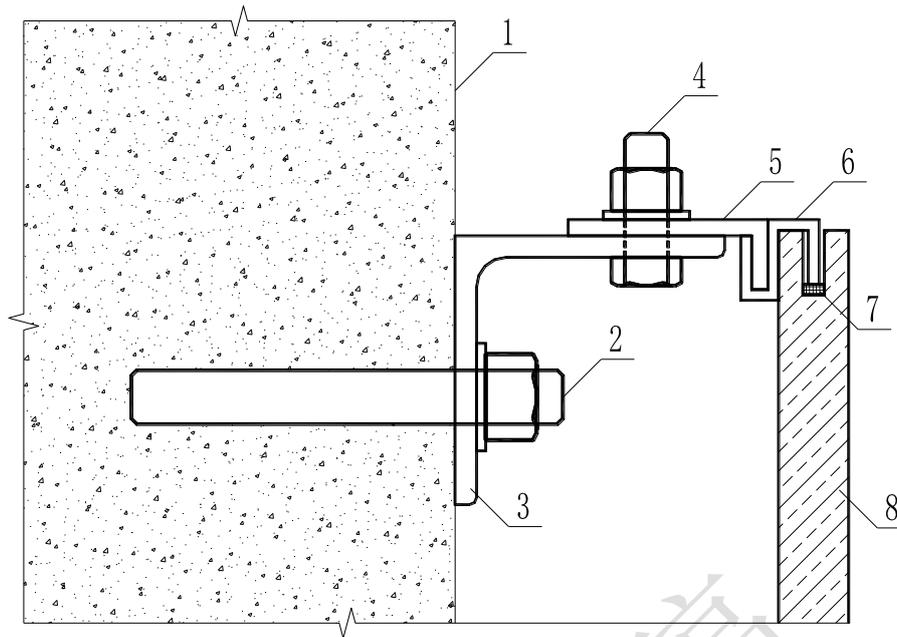


图 A.0.2-3 系统顶部节点构造示意图

1-衬砌；2-锚栓；3-支撑件；4-连接螺栓；
5-L 型挂件；6-S 型挂件；7-弹性垫片；8-加强瓷板

附录 B 常用挂件

B.0.1 系统使用的挂件，必须具有满足设计使用年限的耐气候性能，其强度、刚度和相对位移的能力应符合设计要求，其调节范围应满足施工要求。

B.0.2 S 型挂件可参考图 B.0.2。

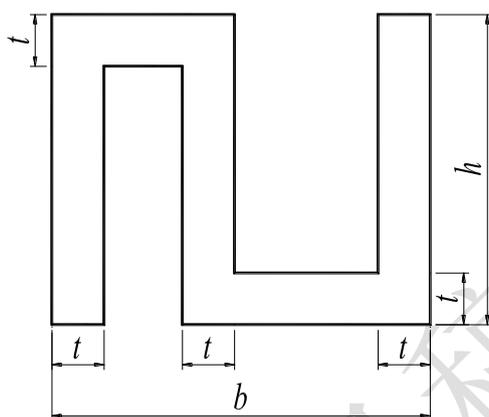


图 B.0.2 S 型挂件示意图

b -宽度； h -高度； t -厚度

B.0.3 L 型挂件可参考图 B.0.3。

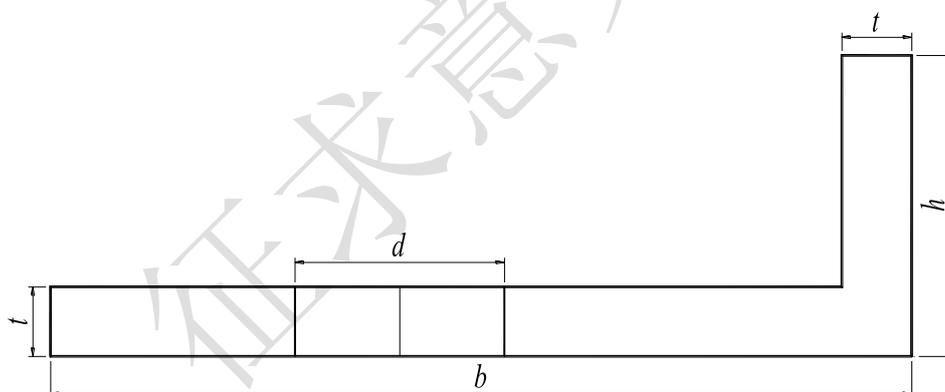


图 B.0.3 L 型挂件示意图

b -宽度； h -高度； t -厚度； d -螺栓孔直径

B.0.4 十字组合挂件可参考图 B.0.4-1 和 B.0.4-2。

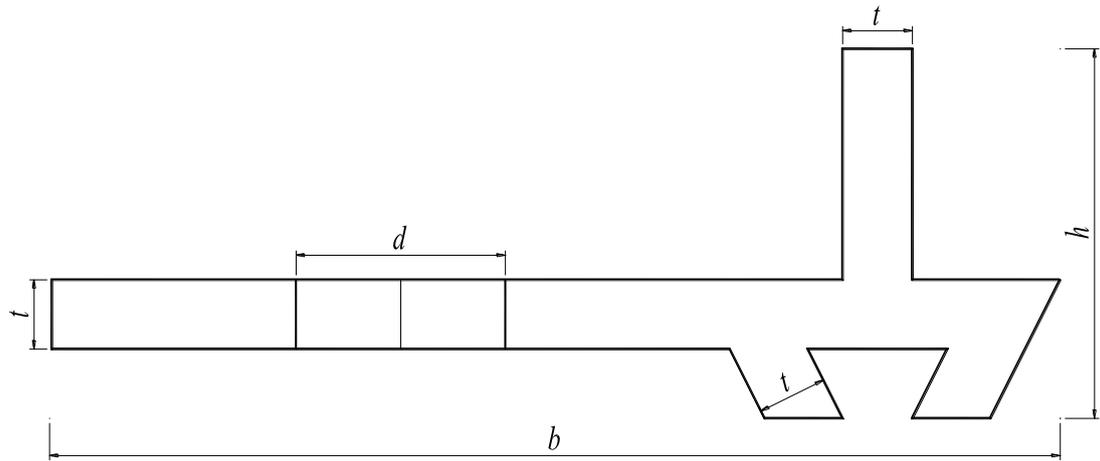


图 B. 0. 4-1 十字组合挂件 A 示意图
 b-宽度；h-高度；t-厚度；d-螺栓孔直径

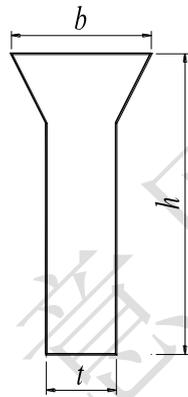


图 B. 0. 4-2 十字组合挂件 B 示意图
 b-宽度；h-高度；t-厚度

附录 C 常见隧道内装方案

C.0.1 公路隧道瓷板无龙骨干挂内装工程可参考图C.0.1-1~图C.0.1-2进行设计。

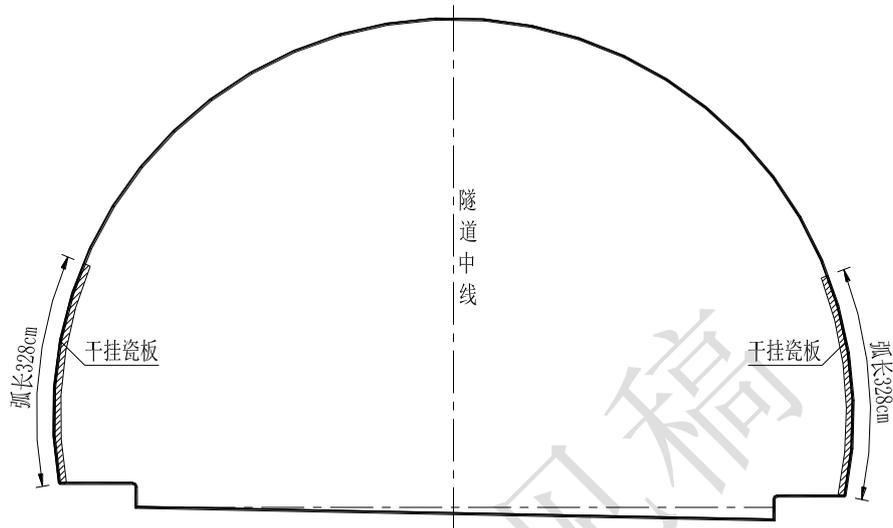


图 C.0.1-1 公路隧道瓷板无龙骨干挂内装工程设计方案

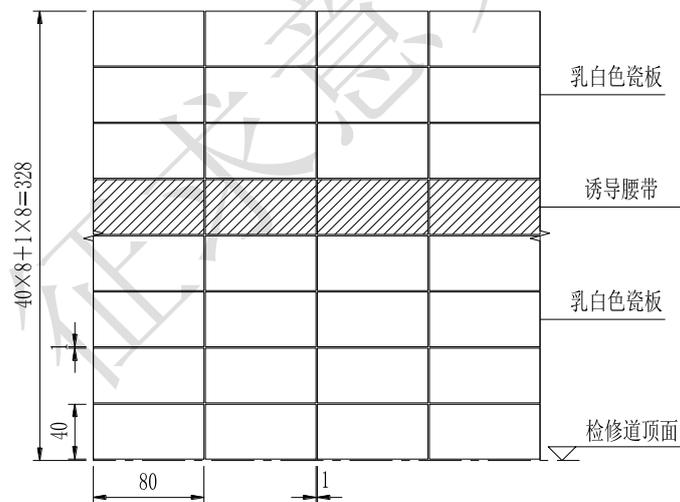


图 C.0.1-2 公路隧道瓷板无龙骨干挂内装工程瓷板铺设方案展开图

C.0.2 城市隧道瓷板无龙骨干挂内装工程可参考图C.0.2-1~图C.0.2-2进行设计。



图 C.0.2-1 城市隧道瓷板无龙骨干挂内装工程设计方案

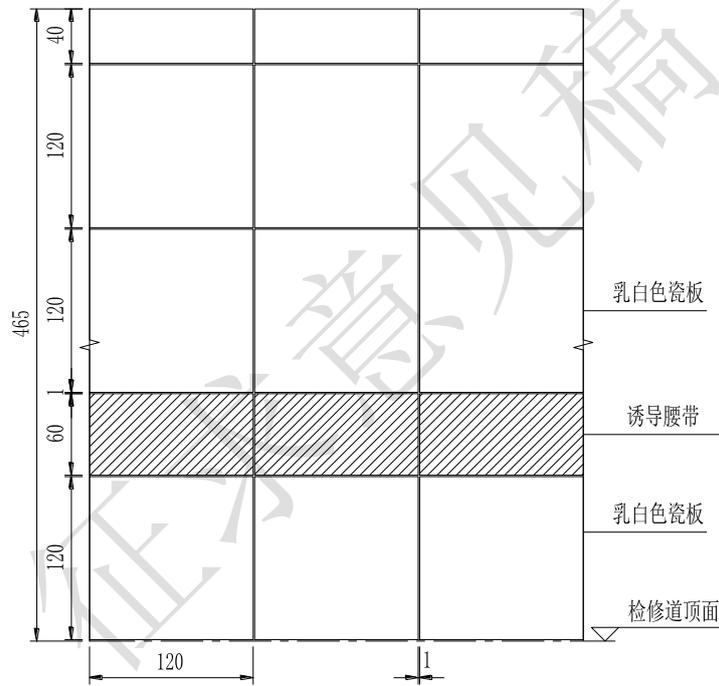


图 C.0.2-2 城市隧道瓷板无龙骨干挂内装工程瓷板铺设方案展开图

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指明应按其他标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……的执行”。

引用标准名录

- 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
《建筑抗震设计规范》 GB 50011
《建筑设计防火规范》 GB 50016
《钢结构设计规范》 GB 50017
《冷弯薄壁型钢结构技术规范》 GB 50018
《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
《铝合金结构设计规范》 GB 50429
《建筑结构加固工程施工质量验收规范》 GB 50550
《钢结构焊接规范》 GB 50661
《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》 GB 50728
《I型六角螺母 C级》 GB/T 41
《平垫圈 C级》 GB 95
《平垫圈 A级》 GB 97.1
《碳素结构钢》 GB/T 700
《十字槽盘头螺钉》 GB/T 818
《十字槽盘头自攻螺钉》 GB 845
《轻型弹簧垫圈》 GB 859
《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板和钢带》 GB 912
《不锈钢焊条》 GB/T 983
《不锈钢棒》 GB/T 1220
《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
《一般用途耐蚀钢铸件》 GB/T 2100
《合金结构钢》 GB/T 3077
《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》 GB/T 3098.1
《紧固件机械性能 螺母》 GB/T 3098.2
《紧固件机械性能 自攻螺钉》 GB/T 3098.5
《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》 GB/T 3098.6
《紧固件机械性能 自钻自攻螺钉》 GB/T 3098.11
《紧固件机械性能 不锈钢螺母》 GB/T 3098.15
《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》 GB/T 3274
《不锈钢冷轧钢板和钢带》 GB/T 3280
《陶瓷砖》 GB/T 4100

《耐候结构钢》 GB/T 4171
《不锈钢冷加工棒》 GB/T 4226
《不锈钢热轧钢板和钢带》 GB/T 4237
《不锈钢丝》 GB/T 4240
《非合金钢及细晶粒钢焊条》 GB/T 5117
《热强钢焊条》 GB/T 5118
《铝合金建筑型材 第1部分：基材》 GB 5237.1
《铝合金建筑型材 第2部分：阳极氧化型材》 GB 5237.2
《铝合金建筑型材 第3部分：电泳涂漆型材》 GB 5237.3
《铝合金建筑型材 第4部分：粉末喷涂型材》 GB 5237.4
《铝合金建筑型材 第5部分：氟碳漆喷涂型材》 GB 5237.5
《铝合金建筑型材 第6部分：隔热型材》 GB 5237.6
《六角头螺栓 C级》 GB/T 5780
《六角头螺栓 全螺纹 C级》 GB/T 5781
《工程结构用中、高强度不锈钢铸件》 GB/T 6967
《结构用无缝钢管》 GB 8162
《一般工程用铸造碳钢件》 GB/T 11352
《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法》 GB/T 13912
《自钻自攻螺钉》 GB/T 15856.1~GB/T 15856.5
《大气环境腐蚀性分类》 GB/T 15957
《建筑幕墙耐撞击性能分级及检测方法》 GB/T 38264
《混凝土结构后锚固技术规程》 JGJ 145
《混凝土用膨胀型、扩孔型建筑锚栓》 JG 160
《建筑用隔热铝合金型材》 JG 175
《建筑幕墙用瓷板》 JG/T 217
《公路工程技术标准》 JTG B01
《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》 JTG 3370.1
《公路隧道设计细则》 JTG/T D70
《公路隧道照明设计细则》 JTG/T D702-01
《公路隧道施工技术规范》 JTG F60
《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》 JTG F80/1
《公路隧道养护技术规范》 JTG H12
《公路养护安全作业规程》 JTG H30
《公路工程施工安全技术规范》 JTG H90